



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI KÖK SEVİYELERİNDE OLUŞTURULAN
EKSTERNAL KÖK REZORPSİYON KAVİTELERİNDE
SONLU ELEMAN ANALİZİ**

UZMANLIK TEZİ

Hande AKGÜN

**Samsun
Mart 2022**



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ
ENDODONTİ ANABİLİM DALI

**FARKLI KÖK SEVİLERİNDE OLUŞTURULAN
EKSTERNAL KÖK REZOPRSİYON KAVİTELERİNDE
SONLU ELEMAN ANALİZİ**

UZMANLIK TEZİ

Hande AKGÜN

**Danışman
Doç. Dr. Elif KALYONCUOĞLU**

**Samsun
Mart**

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitim sürecim boyunca klinik birikimini, bilgilerini ve yaşam tecrübelerini benimle paylaşan; tez süresince sabır ve hoşgörü ile desteğini eksik etmeyen; uzmanlık süresince karşılaştığım tüm zorluklarda bana yardımcı olan; çok kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Elif KALYONCUOĞLU'na,

Uzmanlık eğitimim süresince her zaman destek olan ve emeği geçen Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Uğur İNAN'a,

Uzmanlık eğitimim boyunca kendilerinden teorik ve pratik anlamda birçok şey öğrendiğim saygıdeğer Endodonti Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine,

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi, karşılıksız sevgileriyle desteklerini her zaman yanımda hissettiren, benim için her türlü fedakarlığı yapan sevgili annem Saadet Çalışkan'a, kıymetli babam Cafer Çalışkan'a, canım kardeşlerim Faik ve Elif Naz Çalışkan'a

Hayatıma girdiği günden beri yaşamıma renk katan, bir arada olmaktan büyük mutluluk duyduğum, sevgisiyle ve desteğiyle hep yanımda olan değerli hayat arkadaşım Dr. Dt. Hasan Can AKGÜN'e ve aramıza katılarak hayatımıza bambaşka bir renk katan, hayatta alabileceğim en güzel ünvanı bana kazandıran, canım oğlum Tuğra Nezih AKGÜN'e,

Tüm uzmanlık sürecim boyunca hiçbir zaman yardımını ve desteğini eksik etmeyen Dt. Kübra BOZSOY'a ve Dt. Büşra Melike Çağlar'a, ne zaman ihtiyacım olsa bir şekilde yanımda olmayı başaran değerli kardeşlerim Dt. Ayşegül ARKAN ve Dt. Gülçin ALAK'a, Endodonti Anabilim Dalı'nın bütün çalışanlarına, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, PYO.D15.1904.21.006 proje numarası ile Ondokuzmayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir.

ÖZET

FARKLI KÖK SEVİYELERİNDE OLUŞTURULAN EKSTERNAL KÖK REZORPSİYON KAVİTELERİNDE SONLU ELEMAN ANALİZİ

Amaç: Bu çalışmanın amacı; maksiller santral diş modelinin farklı kök seviyelerinde oluşturulan eksternal kök rezorpsiyonlarının farklı tamir materyalleri ile restore edildikten sonra üç boyutlu sonlu elemanlar analizi ile değerlendirilmesidir.

Materyal ve Metot: Bu çalışmada 1 adet tek köklü insan maksiller santral dişi kullanılmıştır. Uygun giriş kavitesi açıldıktan sonra kök kanalı ProTaper Next eğe sistemi kullanılarak X5 (50.06) numaralı eğe boyutuna kadar prepare edilmiştir. Preparasyonu tamamlanan dişin Mikro-BT taraması yapılmıştır. Kesitlerden alınan DICOM uyumlu görüntüler Ctan yazılımı ile stereolitografi formatına dönüştürülmüştür. Mikro BT taraması ile elde edilen 3 boyutlu görüntü işlenip VRMesh Studio programından yararlanarak katı model oluşturulmuştur. Diş kökünün bukkal yüzeyinde apikal, orta ve koronal üçlü seviyelerinde farklı boyutta eksternal kök rezorpsiyonu kavileri tasarlanmıştır. Oluşturulan rezorpsiyon kavileri bilgisayar ortamında farklı tamir materyalleri Biodentin, mineral trioksit agregat ve cam iyonomer siman kullanılarak restore edilmiştir. Lokalizasyonlarına ve kullanılan restorasyon materyallerine göre 24 adet model oluşturulmuştur. Üst santral dişin palatinal bölgesine okluzal düzleme 45 ° açıyla 100 N luk oblik kuvvet simüle edilmiştir. Von Mises stres değerleri ölçülmüştür.

Bulgular: Rezorpsiyon kavilerinde dentindeki stres dağılımlarına bakıldığında en fazla stres birikimi cam iyonomer siman uygulandığında, en az stres birikimi Biodentin uygulandığında görülmüştür. Kökün farklı seviyelerinde her zaman büyük kavitedeki stres birikimi küçük kaviteden fazla bulunmuştur.

Sonuç: Dişte oluşan stres miktarları değerlendirildiğinde rezorpsiyon kavitesi tamir materyali olarak Biodentin tercih edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu eleman analizi; Eksternal kök rezorpsiyonu; Stres dağılımı; Mikro-BT; MTA; Biodentin

HANDE AKGÜN, Uzmanlık Tezi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi – Samsun – 2022

ABSTRACT
FINITE ELEMENT ANALYSIS OF EXTERNAL ROOT RESORPTION
CAVITIES CREATED AT DIFFERENT ROOT LEVELS

Aim: The aim of this study is to evaluate the external root resorptions created at different root levels of the maxillary central tooth model with three-dimensional finite element analysis after restoration with different repair materials.

Material and Method: In this study, 1 single rooted human maxillary central tooth was used. After opening the appropriate access cavity, the root canal was prepared up to file size X5 (50.06) using the ProTaper Next file system. Micro-CT scan of the prepared tooth was performed. DICOM compatible images taken from the sections were converted to stereolithography format with Ctan software. A solid model was created by processing the 3D image obtained by micro-CT scanning and using the VRMesh Studio program. External root resorption cavities of different sizes were designed at the apical, middle and coronal triad levels on the buccal surface of the tooth root. The created resorption cavities were restored using different repair materials Biodentin, mineral trioxide aggregate and glass ionomer cement in computer environment. The models were determined to be 24 models according to their localization and the restoration material used. An oblique force of 100 N was simulated to the palatal region of the upper central tooth at an angle of 45° to the occlusal plane. Von Mises stress values were measured.

Results: Considering the stress distributions in dentin in resorption cavities, the highest stress accumulation was observed when glass ionomer cement was applied, and the least stress accumulation was observed when Biodentin was applied. Stress accumulation in the large cavity was always greater than in the small cavity at different levels of the root.

Conclusions: Biodentin can be preferred as the resorption cavity repair material when the amount of stress in the tooth is evaluated.

Keywords: Finite element analysis; External root resorption; Stress distribution; Micro-CT; MTA; Biodentin

HANDE AKGÜN, Speciality Thesis
University of Ondokuz Mayıs – Samsun – 2022

SİMGELER VE KISALTMALAR

SESA	: sonlu eleman stres analizi
µm	: mikrometre
BMP	: bit map picture
°C	: celcius
KIBT	: konik ışınli bilgisayarlı tomografi
CCD	: charge coupled device
DICOM	: digital imaging and commutation in medicine
STL	: stereolitografi
EDTA	: etilen diamin tetraasetik asit
H Tipi	: hedström tipi
kV	: kilovolt
Mikro BT	: mikro bilgisayarlı tomografi
ml	: mililitre
mm	: milimetre
MTA	: mineral trioksit agregat
CİS	: cam iyonmer siman
NaOCl	: sodyum hipoklorit
NiTi	: nikel-titanyum
°	: derece
sn	: saniye
X-ray	: x ışını
E	: elastisite modülü
V	: poisson oranı
σM	: von Mises stresi
MPa	: megapaskal
Pa	: paskal
N	: Newton
%	: yüzde

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
İÇİNDEKİLER	v
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kök Rezorpsiyonları.....	3
2.1.1. Kök Rezorpsiyonunun Tarihçesi	3
2.1.2. Kök Rezorpsiyonunun Etiyolojisi	4
2.2. Rezorpsiyon Hücreleri.....	5
2.3. Rezorpsiyonun Sınıflandırılması	7
2.3.1. İç Kök Rezorpsiyonu.....	8
2.3.2. Dış Kök Rezorpsiyonu	11
2.4. Dış Kök Rezorpsiyonunun Tedavisinde Kullanılan Restoratif Materyaller	25
2.4.1. Cam İyonomer Siman.....	25
2.4.2. Mineral Trioksit Agregat (MTA)	27
2.4.3. Biodentin	28
2.4.4. Geristore	29
2.4.5. Diğer Tamir Materyalleri	29
2.5. Dış Hekimliğinde Kullanılan İleri Düzey Görüntüleme Sistemleri.....	30
2.5.1. Bilgisayarlı Tomografi	30
2.5.2. Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi	30
2.5.3. Mikro Bilgisayarlı Tomografi	31
2.6. Stres Analiz Yöntemleri	32
2.6.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge) Analiz Yöntemi:	33
2.6.2. Fotoelastik Analiz Yöntemi:	33
2.6.3. Holografik İnterferometre Analiz Yöntemi:.....	33
2.6.4. Kırılğan Vernikle Kaplama Yöntemi:	34
2.6.5. Sonlu Eleman Stres Analizi Yöntemi:.....	34
3. MATERYAL VE METOT	41
3.1 Çalışmaya Dahil Edilen Dişin Seçimi	41
3.2 Örneğin Hazırlanması.....	42
3.3. Örneğin Mikro-BT ile Görüntülenmesi.....	45
3.4. Mikro-BT Görüntüsünden Model Oluşturulması	45

3.5. Üç Boyutlu Modellerin Sonlu Eleman Analizine Aktarılması	50
3.6. Dügüm ve Eleman Sayıları.....	51
3.7. Yükleme Koşulu.....	54
3.8. Modellerin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	55
4. BULGULAR	56
4.1. Kökün Koronal Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri.....	57
4.2. Kökün Orta Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri	59
4.3. Kökün Apikal Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri	61
4.4. Tamir Materyallerinde Oluşan En Yüksek Stres Ve Deformasyon Bölgeleri.....	62
5.TARTIŞMA	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	70
KAYNAKÇA	71
ÖZGEÇMİŞ.....	91
EKLER.....	92

1. GİRİŞ

Kök rezorpsiyonu, odontoklastik aktivasyon sonucunda diş sert dokularında (sement, dentin) meydana gelen madde kaybı olarak tanımlanır.¹ Daimi dişlerin rezorpsiyonu patolojik olarak kabul edilmektedir.² Dış kök rezorpsiyonları, mekanik travma, enflamasyon, ortodontik diş hareketleri, periodontal sorunlar, kist ve tümör gibi neoplazik oluşumlar, gömülü dişler ve sistemik rahatsızlıklar gibi nedenlere bağlı olarak meydana gelebileceği gibi idiyopatik kökenli de olabilir. Kök rezorpsiyonlarının sınıflandırılması birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır.³ Lokalize oldukları bölgeye göre iç ve dış kök rezorpsiyonları olarak iki ana gruba ayrılır.⁴

Dış kök rezorpsiyonu, sement ve dentini rezorbe eden; periodonsiyum kaynaklı bir kök rezorpsiyonudur. Klinikte görülme sıklığı iç kök rezorpsiyonuna göre daha fazladır. Klinik olarak karakteristik bir semptomu yoktur. Bazen pulpaya kadar ilerleyip pulpanın devitalize olmasına neden olur. Pulpa vitalite değerleri her olguda değişiklik gösterir. İleri derecede rezorpsiyona uğramış dişlerde kırık meydana gelebilir. Erkeklerde kadınlara oranla daha fazla görülür. En çok üst santral ve lateral dişlerde, en az alt ve üst birinci molar dişlerde görülür. Lokalizasyonu en çok apikal bölgede sonra orta üçlüde en az olarak da servikal ve bifurkasyon bölgesinde görülür.⁵

Pulpa nekrozundan sonra, apikal yönde doğal bir yol izleyen kök kanal enfeksiyonu periapikal dokuların enflamasyonunu başlatabilmektedir. Bu süreç periapikal dokuların yıkımını ve diş yapılarının kaybını stimule edebilmektedir. Bu durum klinik olarak dış enflamatuvar kök rezorpsiyonu olarak gözlenmektedir. Etiyolojik faktörlere bağlı olarak eksternal ya da internal koruyucu hücre tabakası zarar görebilmekte ve sonucunda enflamatuvar ya da replasman (yer değiştirme) tipi kök rezorpsiyonları kökün herhangi bir kısmını etkileyebilmektedir.⁵

Başarılı bir tedavi ile dış enflamatuvar kök rezorpsiyonunun yavaşlatılması veya durdurulması mümkündür. Pulpal veya periapikal patoloji teşhis edildiği zaman kök kanal tedavisine başlamak gerekir.⁶ Rezorptif defektin debridmanı ve doldurulması için klinik bir kılavuz sağlamak üzere dış kök rezorpsiyonu tedavisi için çeşitli yaklaşımlar önerilmiştir. Defektin kemo-mekanik debridmanını takiben, rezorptif defektlerin restorasyonu ve kemik defektlerin tedavisi için cam iyonomer simanlar, ışıkla sertleşen rezin kompozit, amalgam, mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentin gibi tamir materyalleri ve yönlendirilmiş doku rejenerasyonu önerilmiştir.⁷

İn vivo insan çalışmalarında, dişe kuvvet uygulamak net bir şekilde etik olmamaktadır ve uzun vadeli prospektif insan çalışmaları, takip etme zorluklarından dolayı zaman alıcı ve masraflı olacaktır. İn vitro ve ex vivo modeller ise yetersizlikleri sebebiyle sınırlı sayıdadır. Ek olarak; periodontal ligament gibi önemli yapısal elementleri doğru bir şekilde taklit etmek çok zordur. Etki yayılımı ve dağılımını anlamak için yumuşak doku gibi ayrılmaz parçaların değerlendirilmesi de çok önemlidir.⁸ Canlı dokuların gelen kuvvetler karşısında nasıl bir tepki vereceğini tespit etmek ve gerilme analizi yapmak oldukça zor, maliyeti yüksek ve bazen de imkansızdır. Bu nedenle stres analiz çalışmalarını canlı dokunun bir modeli üzerinde yapmak daha doğrudur.⁹

Literatür incelendiğinde dış kök rezorpsiyonu kavitelesinin restorasyon tekniklerinin kök dentinin stres dağılımı üzerindeki etkileri üzerine daha önce hiçbir çalışma yapılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı maksiller santral diş modelinin farklı kök seviyelerinde ve farklı büyüklüklerde oluşturulan dış kök rezorpsiyonlarının farklı tamir materyalleri ile restore edildikten sonra sonlu eleman stres analizi ile değerlendirilmesidir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kök Rezorpsiyonları

Diş rezorpsiyonu odontoklastik hücrelerin aktivasyonları sonucunda meydana gelen diş sert dokularının kaybıdır.¹⁰ Normalde kök rezorpsiyonları süt dişlerinin dökülmesinde etkili ve normal fizyolojik bir süreç iken, sürekli dişlerde genellikle patolojiktir.¹¹ Patolojik durumlarda sert doku rezorbe edici hücrelerinin istenmeyen ve kontrolsüz aktivasyonu söz konusudur. Ciddi bir komplikasyon olarak karşımıza çıkan rezorpsiyonlar yapılan tedavilerin genellikle başarısız olmasına ve hatta dişlerin çekimine neden olabilmektedir.¹² Daimi dişlerin rezorpsiyonu genellikle travma sonucu meydana gelmektedir. Travma haricinde tümör, diş sürmesi, ortodontik diş hareketi sonrası periodontal ligamentte artan basınç, pulpa veya periodontal yapıların kronik enfeksiyonları da rezorpsiyona yol açabilmektedir.¹³

Diş rezorpsiyonunun kemik rezorpsiyonuna benzer olduğu düşünülmektedir.¹⁴ Dentin, sement ve kemik dokularını etkileyen irritasyon bir takım kimyasal değişikliklere ve bunun sonucunda osteoklast, sementoklast veya dentinoklast gibi rezorpsiyondan sorumlu çok çekirdekli dev hücrelerin oluşumuna sebep olmaktadır.¹²

Rezorpsiyon, köklerin dış yüzeyinde kendi kendini sınırlayabilir veya ilerleyerek potansiyel yıkıcı bir oluşuma dönüşebilir.¹⁵ Bu yıkım sonucunda rezorpsiyon, kök kaybına bağlı hafif diş mobilitesinden, rezorpsiyonun ilerlemesiyle dişin restore edilemez duruma gelmesine kadar değişen boyutlarda oluşabilir.¹⁶

2.1.1. Kök Rezorpsiyonunun Tarihçesi

Diş yapılarının rezorpsiyonu hakkında ilk vaka raporu, 1530'da Michael Blum'un 'Dişlerin cerrahi ameliyatı, bilimi ve sanatı hakkında' kitabında bildirilmiştir.¹⁷ Diş rezorpsiyonu hakkında ilk bilgiyi ise 1806 yılında Josef Fox 'The history and treatment of the diseases of the teeth, diseases of the gums and alveolar process, with the operations which they respectively require' adlı kitabında vermiştir. Fox, rezorpsiyon sürecini kemik tümörlerine benzetmiş ve kitapta rezorpsiyondan 'spina ventosa' olarak bahsetmiştir.¹⁸ Rezorpsiyonun çok çekirdekli hücrelerle ilişkili olduğunu ilk defa 1849'da Jared Robin yayınladığı makalesinde yazmış, 1859'da ise John Tomes bu süreci absorpsiyon olarak adlandırmış ve kemik rezorpsiyonunda osteoklastların önemli rolünün olduğunu söylemiştir.¹²

2.1.2. Kök Rezorpsiyonunun Etiyolojisi

Rezorpsiyonun etiyojisi hakkında çok değişik teoriler vardır. Bu teoriler lokal ve sistemik olarak ikiye ayrılmaktadır. Çürük, kronik pulpa iltihabı, travma, pulpotomi, periodontal ve cerrahi tedavi, bifosfonat kullanımı, parafonksiyon, ortodontik tedavi ve protetik işlemler sırasında post boşluğu hazırlanması, diş preparasyonu veya kavite hazırlanması esnasında kontrol edilemeyen yüksek sıcaklık lokal nedenler arasında sayılabilir.¹⁹ Periodontal hastalıklarda kök rezorpsiyonu üç kat daha fazla görülmektedir.²⁰ Kök rezorpsiyonunu başlatan en önemli faktörden biri pulpal enfeksiyondur. Presement veya preentin hasarının ardından enfekte olmuş dentin tübülleri, enflamatuvar prosesi periradiküler dokularda osteoklastik aktivite ile uyarak iç veya dış kök rezorpsiyonunu başlatabilir.²¹ Kök rezorpsiyonunun lokal ve sistemik nedenleri tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Kök rezorpsiyonunun lokal ve sistemik nedenleri(27,28)

Lokal nedenler	Sistemik nedenler
Akut yaralanma	Hipertiroidizm ve hipoparatiroidizm gibi hormonal bozukluklar
Kronik yaralanma	Hipertansiyon
Mikrotravma	Aterosklerozis
Maloklüzyon	Paget hastalığı
Zararlı alışkanlıklar	Papillon-Lefevre sendromu
Ortodontik kuvvetler	Steven-Jonson sendromu
Diş beyazlatma	Karaciğer yetmezliği
Diş replantasyonu	Böbrek hastalıkları
Vital amputasyon	Kemik displazisi
Daimi dişlerin normal olmayan erüpsiyonu	Genetik bozukluklar
Tümör veya kistlerin baskısı	Vitamin A yetmezliği
Pulpanın termal hasarı	Gebelik
Dental invaginasyon	Zona hastalığı
Periodontal tedavi	Turner sendromu
Farklı dental materyaller	Kabuki sendromu
	Radyoterapi

Bu nedenlere ek olarak literatürde rezorpsiyon nedenlerini belirten başka vaka raporları da sunulmuştur. Lengheden ve ark.’ın yaptığı çalışmada iltihaplı periodontal ligamente sahip dişlerde uzun süreli kalsiyum hidroksit tedavisinin iyileşme sürecine zarar verebildiği belirtilmiştir. Bu durumun replasman rezorpsiyonunun ilerlemesine

neden olduğu bildirilmiştir.²² Literatürde dişlere uygulanan beyazlatma işleminden sonra dış rezorpsiyonun gözlemlendiği olgular da rapor edilmiştir. Friedman ve ark. devital dişlere uygulanan beyazlatmadan sonra oluşan rezorpsiyonları değerlendirdikleri çalışmalarında beyazlatma öncesi veya sonrasında travma öyküsü olmayan 58 adet dişin 2'sinde (% 3,5) ilerlemiş rezorpsiyon ve diğer 2 dişte ilerlemesi durmuş rezorpsiyon tespit etmişlerdir.²³ Bir başka çalışmada ev tipi vital beyazlatma işleminden sonra hastada invaziv multipl dış servikal kök rezorpsiyonu geliştiği bildirilmiştir.²⁴ Kök rezorpsiyonları etiolojisinde virüslerin rolü olduğu da tespit edilmiştir. Arx ve ark.'ın yaptığı çalışmada 'feline herpes virüsü'nün 4 olguda invaziv servikal rezorpsiyonla ilişkisi olduğu kanıtlanmıştır.²⁵ Patel ve ark. ise yaptıkları çalışmada 'varisella zoster virüsü'nün dış servikal rezorpsiyona neden olduğu bir vakadan bahsetmişlerdir.²⁶

Farklı tipte kök rezorpsiyonlarının etiolojisinde iki faktör oldukça önemlidir:

1. Koruyucu tabaka olan presegment veya prementinin kaybı veya hasarı
2. Enflamasyonun korunmasız kök yüzeyine yayılması

Koruyucu dokuların hasarı mekanik veya kimyasal ajanlarla olabilir.⁵ Al Momani ve ark. kök rezorpsiyonunun iki türü olan dış ve iç rezorpsiyonların nedenlerini Tablo 2.2'de görüldüğü üzere sınıflandırmıştır.¹³

Tablo 2.2.İç kök ve dış kök rezorpsiyonlarının nedenleri

İç rezorpsiyon	Dış rezorpsiyon
Kronik pulpa iltihabı	Dişin replante edilmesi
Travma	Ortodontik kuvvet
Pulpotomi	Komşu dişin sürmesi
Restoratif işlemler	Kök kırığı
Kırık diş	Travma
İnvagine singulum	Nekrotik pulpa
Ortodontik diş hareketi	Patolojik oluşumlar (kist, ameloblastoma, dev hücreli tümör, fibro-osseoz lezyonlar)
	Genetik katılım
	Beyazlatma
	Dentoalveoler ve ortognatik cerrahi
	Mandibuloektomi/maksillektomi

2.2. Rezorpsiyon Hücreleri

Osteoblastik ve osteoklastik aktivite, kemik üzerine gelen strese cevap olarak sürekli yapılan onarım ve yeniden yapılanma gibi normal fizyolojik bir süreçtir.²⁷ Mine,

dentin ve sement gibi diş sert dokuları, odontoklast, sementoklast, dentinoklast adı verilen çok çekirdekli hücreler tarafından rezorbe edilir. Odontoklast hücreleri osteoklastlarla aynı tip hücre olarak kabul edilir çünkü osteoklastlarla aynı histokimyasal özelliklere sahiptir.^{28,29} Osteoklastlar dalak veya kemik iliğinden elde edilen monosit-makrofaj kökenli mononükleer prekürsör hücrelerinin füzyonu ile oluşur ve kemik rezorpsiyonundan sorumludur.³⁰ Osteoklastlar ve odontoklastlar, sert dokuları rezorbe eden çok çekirdekli dev hücrelerdir.³¹ Çok çekirdekli hücreler, tek çekirdekli hücrelerin füzyonu ile oluşur. Aynı zamanda aktif olarak diş sert dokusunu rezorbe eden tek çekirdekli odontoklastlar da kaydedilmiştir.³²

Sementoklastlar normalde periodontal ligamentte bulunmaz çünkü sementin remodelasyonu yoktur. Bu yüzden sadece patolojik durumlarda ortaya çıkarlar.³³ Sementoklastlar osteoklastlarınkine benzer bir fenotipe sahiptir; ancak osteoklastların aksine, bu hücrelerin kökeni ve farklılaşmalarını sağlayan moleküler yollar bilinmemektedir.³⁴

Diş dokularının rezorpsiyon süreci kemikte görülen rezorpsiyon ile benzer şekildedir ancak dentini rezorbe edici hücreler ile kemiği rezorbe eden hücreler arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Odontoklastların boyutu osteoklastlardan daha küçüktür. Aynı zamanda rezorpsiyon lakunalarının boyutu küçük ve sayısı da daha azdır.^{35,36} Osteoklast ve odontoklastlar, kemik ve dişlerin rezorpsiyonunda ortak bir mekanizmayı paylaşmaktadır.³⁴ Odontoklastların dolaşımdaki progenitör hücrelerden farklılaştığı düşünülmektedir.³⁷ Organelden fakir olması ve diş yüzeylerinin pürüzlülüğü gibi osteoklastlara benzer özellikler gösteren bu progenitör hücreler diş pulpasında ve periodontal ligamentte lokalizedirler.³⁸ Oshiro ve ark'ın yaptığı çalışmada kök rezorpsiyonlu insan süt dişi kök dentinindeki rezorbe edici odontoklastlarda özellikle rezorpsiyon lakunasına bakan pürüzlü yüzey alanlarında vakumlu tip H1-ATPaz, katepsin K, MMP-9 ve RANKL bulunmuştur. Odontoklastların çoğunda yapısal olarak sitoplazmaya doğru derin ve düzenli membran girişleri ve sitoplazmada çok sayıda soluk vakuol birikimi mevcut olup bu hücreler iyi gelişmiş pürüzlü kenarlara sahiptir.³⁹

Sahara ve ark.⁴⁰ süt dişlerinin pre-dentin yüzeyindeki odontoklastik rezorpsiyon sürecini incelemiş ve çok çekirdekli hücrelerin karakteristik olarak mitokondri, lizozom ve serbest polisomlar açısından zengin olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca odontoklastların pre-dentin ile dentin absorbe etme yüzeylerinin aynı karakteristik yapıya

sahip olduğunu göstermişlerdir. Fizyolojik süt dişi rezorpsiyonunda olgun odontoklast oluşumu ancak absorpsiyon yüzeyine bağlandıktan sonra gerçekleşmektedir. Klast hücrelerinin mineralize edilmemiş matrislere adezyonu mümkün olmadığından dolayı bu dokularda rezorpsiyon oluşturamaz. Odontoklast bağlanması ana araçları, mineralize yüzeylerde kalsiyum tuzu kristallerine bağlı RGD-peptidlerdir. Sementin en dış tabakası olan sementoid bölgesi odontoklast bağlanması için tatmin edici koşullar sağlayan bir yüzeye sahip değildir. Aynı şekilde kök kanalının iç yüzeyindeki dentin, benzer bir organik yüzeye sahip olan predentin matrisiyle kaplı olup bu tabakalar dişin rezorpsiyona karşı direncini sağlamakta oldukça büyük öneme sahiptir.³

2.3. Rezorpsiyonun Sınıflandırılması

Sınıflandırma teşhis ve tedavi planlamasında diş hekimi için önemli role sahiptir. Günümüze kadar çok farklı rezorpsiyon sınıflandırmaları yapılmıştır. Sınıflandırma rezorpsiyonun oluşum mekanizmasına ve tipine bağlı olarak değişmektedir. En basit sınıflandırmada rezorpsiyon, lokalizasyona bağlı olarak iç (pulpa kaynaklı) ve dış (periodontal ligament kaynaklı) kök rezorpsiyonu olarak ikiye ayrılır. İlk sınıflandırmayı Andreasen 1970 yılında yapmış olup lezyonun lokalizasyonuna, tipine ve travma etkilerine göre rezorpsiyonları aşağıdaki gruplara ayırmıştır.⁴¹

1. İç rezorpsiyon– yüzey, replasman ve enflamatuvar
2. Dış rezorpsiyon –yüzey, replasman, enflamatuvar ve servikal
3. Kombine

1970'ten günümüze kadar 15 farklı sınıflandırma yapılmıştır.⁴² Son yapılan sınıflandırma Patel ve ark.'ın 2018'de yayınladığı derlemede Tablo 2.3'te gösterildiği gibi belirtilmiştir.⁴³

Tablo 2.3. İç kök ve dış kök rezorpsiyonlarının sınıflandırılması.

REZORPSİYON	
İÇ KÖK REZORPSİYONU	DIŞ KÖK REZORPSİYONU
Enflamatuvar rezorpsiyon	Enflamatuvar rezorpsiyon
Replasman rezorpsiyonu	Replasman rezorpsiyonu
	Servikal rezorpsiyon
	Yüzey rezorpsiyonu
	Geçici apikal yıkım

2.3.1. İç Kök Rezorpsiyonu

İlk olarak Bell tarafından 1830'da rapor edilmiştir. İç kök rezorpsiyonu, iç granuloma, iç progresif rezorpsiyon, iç-orta rezorpsiyon veya 'pinktooth' olarak da adlandırılır. Rezorpsiyon, kronun içinde veya servikale yakın bir bölgede meydana geldiğinde ileri dönemde granülasyon dokusunun yüzeyini örten ince bir mine tabakası kalmaktadır. Rezorpsiyonun bu evresinde 'Mummery'nin pembe dişi' olarak adlandırılan kron boyunca pembemsi veya kırmızımsı bir renk izlenebilir. Bu duruma ilk olarak "pembe nokta" adını veren Fothergil olmuştur.⁴⁴ 1920'de ise Mummery 'pembe nokta' patolojileri ile ilgili yapılan ilk çalışmayı yayınlamıştır.⁴⁵ Pritchardise histolojik olarak iç kök rezorpsiyonunun pulpa granülomu ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir.⁴⁶ İç kök rezorpsiyonu, klastik hücrelerin aktivasyonu sonucu olarak kanal duvarlarının orta ve apikal üçlüsü boyunca intraradiküler dentin ve dentinal tübüllerin progresif yıkımıdır. Rezorptif boşluklar granülasyon dokusunun yanı sıra kemik veya sement benzeri mineralize dokularla da doldurulabilir.⁴⁷ İç kök rezorpsiyonu, kök kanalı içinde dentinden başlayarak sementte doğru yayılmaktadır.⁴⁸ Bu tip rezorpsiyon, ince dentin duvarına sahip ve dentin tübüllerinin geniş olduğu gelişimini tamamlamamış dişlerde daha sık görülür.⁴⁹ İç kök iltihabi rezorpsiyonu ve iç kök yer değiştirme rezorpsiyonu olmak üzere 2 tip iç rezorpsiyon türü tanımlanmaktadır.⁵⁰

İç Kök Enflamatuvar Rezorpsiyonu

Enflamatuvar rezorpsiyon, genellikle preentinin ve odontoblast tabakasının devamlılığının travma veya bakteriyel enflamasyon sonucu bozulması ile ortaya çıkar.⁵ Diş kökünün herhangi bir bölgesinde görülebilir. Radyolojik olarak, oval şekilli ve düzgün kenarlı bir görüntü verir. Çoğunlukla asemptomatik olarak seyreder. Kökte perforasyon veya akut ya da kronik apikal periodontitis oluşana kadar belirti vermeden ilerleyebilir.⁵¹ Enflamatuvar rezorpsiyonda pulpa rezorpsiyon bölgesinde granülasyon dokusuna dönüşmektedir. Pulpada gelişen aktif hiperemi oksijen basıncını yükselterek, pH düşmesine neden olur ve klastik aktivitenin gelişmesini uyarır.⁵² Pulpa canlı veya cansız olabilir. İç kök rezorpsiyonunun ilerlemeden kök sınırları içinde kaldığı perforasyonun gelişmediği durumlarda, kemik ve periodontal radyolüseni görülmez ancak rezorpsiyonun ilerleyerek apikalden ve yan kanallardan çevre dokuya yayılmasıyla radyografide radyolüsent bölgeler görülebilir.⁵³

İç Kök Replasman Rezorpsiyonu

İç kök replasman rezorpsiyonu, odontoblast tabakasının veya predentinin fiziksel, kimyasal veya bakteriyel etkenlerle devamlılığının bozulması sonucu pulpanın metaplazik bir dokuya dönüşmesiyle oluşur. Replasman rezorpsiyonunda, rezorpsiyon sürecini takiben metaplazik mineralize doku birikimi meydana gelir. Bu metaplazik doku kemik ve sement benzeri mineralize bir dokudur.¹⁴ Reichart ve ark. bu mineralize dokuyu; tamir sementi veya osteodentin benzeri madde olarak isimlendirmişlerdir.⁵⁴ Klinik olarak belirti vermeyebilir. Termal ve elektrikli pulpa testlerine normal cevap verebilir.⁵⁵

İç Kök Rezorpsiyonunun Etiyopatogenezi

İç kök rezorpsiyonunun genellikle “idiyopatik” olduğu belirtilmektedir. İç kök rezorpsiyonun prevalansı ve etiyojisi belirsizdir ve moleküler patogenezi tam olarak anlaşılamamıştır.⁵⁶ Aynı zamanda bir veya birçok dişi etkileyebilir. En fazla kesici dişlerde görülmektedir.⁵⁷ Travma, çürük ve periodontal enfeksiyonlar, vital dişlerde restoratif işlemler sırasında oluşan aşırı ısı, kalsiyum hidroksit içerikli kanal içi ilaç uygulanması, apikal kök rezeksiyonları, anakorezis, ortodontik tedavi, çatlak dişler veya minimal düzeyde olsa da sağlıklı pulpada gelişen idiyopatik distrofik değişiklikler iç kök rezorpsiyonuna yol açabilir.^{58,59} Literatürde aynı zamanda herpeszoster virüs kaynaklı rezorpsiyon ve sistemik viral enfeksiyon nedeniyle odontoblast dejenerasyonu ilişkisine değinilmiştir.⁶⁰

Travma ve enflamasyonun iç kök rezorpsiyonu etiyojisinde en olası faktörler olduğu düşünülmektedir. Diş travması durumunda pulpa içinde kanama gelişebilir ve oluşan kan pıhtısı yerini pulpa odasının dentin duvarını veya kök kanalını sıkıştıran granüler dokuya bırakabilir. Pulpa dokusundaki farklılaşmamış mezenşimal hücrelerin aktivasyonu ile diş sert dokusunun rezorpsiyonundan sorumlu olan dentinoklast hücreleri ortaya çıkmaktadır.⁶¹

Rezorpsiyonun önlenmesinde kök kanalının pulpal yüzeyini bir bariyer gibi örten odontoblastik tabaka ve predentin tabakalarının rolü oldukça önemlidir.⁶³ Ancak pulpal enflamasyon predentin ve odontoblast tabakasının kaybına neden olabilir ve böylece dentinin klastik hücreler tarafından absorpsiyonuna izin verebilir.⁶⁴ İç kök rezorpsiyonunun başlaması ve kök kanalında ilerlemesi için iltihaplı bir pulpa dokusunun gerekli olduğu gösterilmiştir.⁶⁵ Birçok çalışma, osteoklastlara benzer şekilde odontoklastların da mineralize edilmemiş matrikse bağlanmadığını kanıtlamıştır.

Wedenberg ve Lindskog çalışmalarında bu bariyere zarar geldiği takdirde alttaki mineralize dentinin odontoklastlara maruz kaldığını ve bunun sonucunda dentinin rezorpsiyona karşı savunmasız hale geldiğini bildirmişlerdir.⁶³

Dentin rezorpsiyonunun nadir görülmesi, osteoprotegerin (OPG) gibi odontoklast inhibe edici maddelerin RANKL gibi aktivatörler üzerindeki baskısı ile açıklanabilir. Bununla birlikte, dentinin bir rezorpsiyon inhibitörü olarak işlev görebilecek kollajen olmayan bir bileşik içerdiği öne sürülmüştür.⁶⁶ Travma veya pulpa iltihabı gibi muhtemel bir başlangıç faktörü dikkate alınmaksızın aslında iç kök rezorpsiyonunun ilerlemesinin iki etkene bağlı olduğu konusunda genel bir fikir birliği vardır: Rezorpsiyon bölgesindeki pulpa dokusunun canlı ve pulpanın koronalinin kısmen veya tamamen nekrotik olması rezorpsiyonun ilerlemesi için önemlidir. Ayrıca bakterilerin ve mikrobiyal antijenlerin kök kanalına girmesi gerekir. Son zamanlarda yapılan birkaç çalışmada gram negatif ve gram pozitif bakterilerin yanı sıra spiroketlerin de RANKL ekspresyonunu ve osteoklast aktivasyonunu uyarma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir.⁶⁷

İç Kök Rezorpsiyonunun Klinik ve Radyolojik Özellikleri

İç kök rezorpsiyonunun klinik özellikleri rezorpsiyonun gelişimine ve lokalizasyonuna bağlıdır. Bu dişler çoğunlukla asemptomatiktir. Aynı zamanda rezorpsiyon aktif olarak ilerlerken diş kısmen vital kalabilir veya dişte pulpitisin tipik semptomları görülebilir. Rezorpsiyon artık aktif değilse ve tüm pulpa nekrotik hale gelmişse hastada apikal periodontitis semptomları gelişebilir. Sinüs yolu klinik olarak tespit edildiğinde bu durum kök perforasyonu veya kronik apikal apse belirtisi olabilmektedir.⁶⁴ Kanal duvarı perforasyonu durumunda ek olarak perforasyon çevresindeki alveolar kemik yapısının incilmesi meydana gelebilir. Bu tür rezorpsiyonun teşhis edilmesinde apeks buluculardan faydalanılabilir. Rezorpsiyon varlığında devre erken tamamlanarak hatalı sonuç gösterir.⁶⁸ Rezorpsiyonun kuronda meydana geldiği ileri aşamalarda lezyon bölgesinin etrafında sadece ince bir mine tabakasının kalmasından ötürü kuron boyunca 'pink spot' adı verilen pembemsi veya kırmızımsı bir renk izlenebilir. Klastik hücrelere bitişik yüksek derecede vaskülarize bağ dokusu kırmızı rengin oluşumuna neden olmaktadır.⁶⁶

Lezyon genellikle rutin radyografik taramalarla tespit edilmektedir. İlk kez 1937'de Munchiç kök rezorpsiyonunun radyografik olarak tanımlanabileceğini

belirtmiştir.⁶⁹ İç kök rezorpsiyonu sıklıkla servikal bölgede gözlenir ancak kök kanal sisteminin tüm alanlarında da oluşabilmektedir.⁵³ Etkilenen dişin kök kanalı boşluğu radyografide genellikle oval bir genişleme gösterir. Pulpa odası ve kök kanalı rezorpsiyondan ötürü takip edilememektedir.⁷⁰ Lezyonun sınırlarının düzgün ve net bir şekilde izlendiği, radyolüsensinin eşit yoğunlukta olduğu ve genellikle kök üzerine simetrik olarak dağıldığı bildirilmiştir.⁷¹ İç kök rezorpsiyonu lezyonları farklı açılarla alınan radyografilerde kanal içerisinde aynı konumda izlenmektedir.⁶⁴

Genel olarak iç veya dış kök rezorptif lezyonlarının tanısı radyografik tekniklerden elde edilen bilgilerle sınırlandırılmıştır. Radyografik teknikleri sınırlayan esas faktör iki boyutlu bir görüntünün üç boyutlu yapılara ilişkin olarak sınırlı klinik bilgi sağlamasıdır. İki boyutlu radyografik görüntüleme rezorptif bir defektin konumunu ve özellikle de bukkal-lingual düzlemde kalan kök kanalı dentininin kalınlığını ortaya koyamamaktadır. Geleneksel radyografik tekniklerde çeşitli anatomik yapıların görüntülerinin superpoze olması rezorpsiyonun tanısını zorlaştıran bir başka sebeptir.⁷²

2.3.2. Dış Kök Rezorpsiyonu

Dış kök rezorpsiyonu, dişlerin kök yüzeyinde sement veya sement-dentin birleşimi bölgesindeki hücre lizisi ile başlayan geri dönüşümsüz bir değişim olarak tanımlanmaktadır.⁷³ Dış kök rezorpsiyonu, kök yüzeyindeki sement tabakası veya diğer diş dokuları hasar gördüğünde ya da uzaklaştırıldığında ortaya çıkabilmektedir.⁷⁴ Sement dokusunda meydana gelen dış kök rezorpsiyonunun en önemli nedeni, sementoblast ve osteoklastların aktiviteleri arasındaki dengeyi bozan patojenik uyaranlar ile sementoblast ve sementin hasar görmesidir. İleri aşamalarda rezorpsiyon, tüm dentin ve sementi içererek kök kanal perforasyonuna neden olabilir. Rezorpsiyonun etkisi aynı zamanda bitişik alveol kemiğinde de gözlenebilir.⁷⁵ Dış kök rezorpsiyonu, yaşları 21-30 arasında olan hastalarda ve kadınlarda daha fazla oranda görülmektedir.⁷⁶

Dış kök rezorpsiyonunun etiyojisi multifaktöriyeldir. Gömülü dişler, ortodontik tedavi sırasında uygulanan aşırı mekanik kuvvet, tümör ve kistler, lüksasyon yaralanmaları veya reimplante edilmiş dişler, dentoalveolar veya ortognatik cerrahi, mandibulektomi, maksillektomi, periradiküler enflamatuvar lezyonlar, komşu dişin sürmesi, kök kırığı, periodontal hastalık ve beyazlatma lokal nedenler arasında sayılabilir. Hipoparatiroidizm, hiperparatiroidizm, kalsinozis, radyoterapi, Turner sendromu, kemik displazisi, Gaucher hastalığı ve Paget hastalığı, Papillon-Lefevre sendromu, Steven-

Jonson sendromu gibi sistemik rahatsızlıklar da dış kök rezorpsiyonu ile ilişkili etken faktörler olarak gösterilmiştir.^{13,77,78}

Travma dış kök rezorpsiyonu patogeneğinde önemli bir role sahiptir. Dış travmaya maruz kaldığında çeşitli derecelerde ataşman hasarı oluşabilir ve ek olarak, pulpa nekrozu ortaya çıktığında diş enfeksiyona daha duyarlı hale gelmektedir.⁷⁹ Enfekte bir kök kanalı sonucunda oluşan toksinler, apikal foramen veya geniş aksesuar kanallarla periodontal dokulara geçebilmektedir. Bununla birlikte, sement tabakasının hasar gördüğü veya kaybolduğu durumlarda iltihap stimülatörleri, enfekte olmuş pulpa boşluğundan dentin tübülleri aracılığı ile periodontal ligamente nüfuz edebilmektedir ve böylece enflamatuvar bir yanıtın oluşumu gerçekleşmektedir. Ardından bu enflamatuvar cevap hem kemik hem de kök rezorpsiyonuna neden olabilmektedir.⁸⁰

Dış Kök Rezorpsiyonunun Teşhisi

Rezorpsiyonun lokalizasyonu ve boyutunun doğru teşhisi ve uygun tedavi yaklaşımının belirlenmesi dişin prognozunda önemli unsurlardır. Doğru teşhis, radyografik ve klinik muayene bütünlüğüne dayanmalıdır. Dış kök rezorpsiyonu hem vital hem de nekroz dişlerde görülebilir. Genellikle rezorpsiyon asemptomatiktir ve klinik muayenede tesadüfen teşhis edilir. Rezorpsiyonun koronalde lokalize olduğu olgularda incelmış mine yapısının altında bulunan yüksek vasküler rezorptif doku çoğu zaman diş kuronunda klinik olarak belirgin pembemsi bir renge sebep olur.⁷¹

Lezyonun dış kökünün bukkal veya lingual yüzeyinde konumlandığı olgularda lezyonun radyografik olarak konumunu belirlemek zor olabilir.⁸¹ Rezorpsiyon bulunan dişlerin radyografik görüntülerinde genellikle düzensiz bir kök yüzeyi farkedilir. Kökün hangi yüzeyinin etkilendiğini belirlemek için farklı açılardan alınan radyografiler faydalı olabilir. Dış kök rezorpsiyonu, kökün lingual veya palatalinde yerleşmişse X-ışını tüpünün açısının değiştirilmesi ile lezyon, tüp ile aynı yönde hareket edecektir. Öte yandan lezyon kökün bukkalinde konumlanmışsa lezyon tüpün değiştirildiği açının tersi yönünde hareket edecektir.⁷³

Kökün proksimal yüzeylerinde bulunan rezorpsiyonlar geleneksel, iki boyutlu radyografiler ile kolaylıkla tespit edilebilirler; ancak, bukkal ve palatinal yerleşim gösteren defektler için bu durum söz konusu değildir. Kesin tanı için KIBT (Konik Işınlı Bilgisayarlı Tomografi) kullanılması önerilir. KIBT incelemesi lezyonun konumunun, derinliğinin ve restore edilebilirliğinin belirlenmesinde yardımcı olur.⁸²

Dış Kök Rezorpsiyonunun Sınıflandırılması

Dış kök rezorpsiyonunun ilk sınıflandırılması 1970 yılında Andreasen tarafından yapılmıştır.⁴¹ En son Patel ve ark. 2018'de lezyonun lokalizasyonunu, tipini ve dışteki travma türünü temel alarak dış kök rezorpsiyonu aşağıda belirtildiği üzere sınıflandırmışlardır:⁴³

1.Enflamatuvar rezorpsiyon

2.Replasman rezorpsiyonu

3.Servikal rezorpsiyon

4.Yüzeyel rezorpsiyon

5.Geçici apikal yıkım

Dış Enflamatuvar Kök Rezorpsiyonu

Dış enflamatuvar kök rezorpsiyonu diğer türlere göre daha sık görülen bir rezorpsiyon türüdür. Dış enflamatuvar kök rezorpsiyonu sement ve dentin üzerinde erozyon alanları, çok sayıda Howship lakunaları, odontoklastlar ve bitişik periodontal dokuda enflamatuvar infiltrasyon bölgeleri ile karakterizedir.⁸³ Bu durumda sement ve kök dentininde derin, çanak şeklinde defektler bulunabilir.⁸⁴ Çoğunlukla kökün apeks kısmında gözlenir, lateral yüzeylerde görülme oranı daha düşüktür. Klinikte ilerlemiş apikal periodontitisli dişlerin çoğunda apikal rezorpsiyon görülmektedir.⁵

Birçok etiyolojik faktörün dış enflamatuvar kök rezorpsiyonuna neden olduğu bilinmektedir. İntrüzyon, ekstrüzyon, avülsiyon veya lüksasyon gibi dişin destek dokularını da içeren şiddetli ve lokalize bir travma türü kök rezorpsiyonunun gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Ayrıca endodontik/ortodontik tedavi ve bitişik dişin sürmesi, tümör, kemik lezyonları, okluzal travma gibi dişin kök yüzeyinde basınç oluşturan faktörler de dış enflamatuvar kök rezorpsiyonuna neden olabilir.⁵⁵

Daha şiddetli travma olgularında veya ortaya çıkan enflamatuvar yanıtın daha yoğun olduğu durumlarda sementteki hasar, dentin tübüllerinin uçlarını örten ara sement tabakasının rezorpsiyonunu içerecek şekilde ilerlemektedir. Dentin tübülleri açığa çıktığı için periodontal ligament ve alveolar kemik içinde bulunan enflamatuvar klast hücrelerinden makrofaj ve osteoklastlarla kök kanalı arasında bir iletişim

sağlamaktadır.⁸⁵ Ayrıca dişlerin yer değiştirmesi apikal foramende kan damarlarının bozulmasına ve iskemik pulpa nekrozuna yol açmaktadır. Nekrotik ve enfekte pulpa dokusu nedeniyle kök kanal sistemindeki bakteri, bakteriyel yan ürünler ve doku yıkım ürünleri, dentin tübülleri ve mine-dentin çatlakları yoluyla periodonsiyuma sızmaktadır ve bitişik periodontal dokudaki iltihaplanmayı uyarmaktadır. Bakteri ürünleri devam eden fagositoz için uyarıcı olmaktadır ve böylece iltihaplanmaya neden olabilmektedir. Bu süreç devam ederse rezorpsiyon kök ve bitişik alveolar kemiği yok edebilmektedir.⁸⁶

Dişlerin ekstrüzyonu veya intrüzyonu kaçınılmaz olarak diş köküne zarar vermektedir. Böylece kök yüzeyindeki periodontal ligamentin koptuğu çıplak bölgelere rezorbe edici hücrelerin kemotaksisi gerçekleşmektedir ve rezorpsiyon başlamaktadır.⁵ Avülsiyon vakalarında ise replantasyondan önce dişin ne kadar süre kuru ortamda bekletildiği rezorpsiyonun başlamasında önemli rol oynamaktadır. Rezorpsiyon replantasyondan 1 hafta sonra başlayabildiği deneysel olarak gösterilmiştir.⁸⁷ Andreasen yapmış olduğu çalışmalarda replantasyondan sonra diş enflamatuvar kök rezorpsiyonunun gelişiminin en az 4 koşula bağlı olduğunu göstermiştir.⁸⁸

1. Ekstrüzyon sırasında ortaya çıkan lüksasyon hareketleri nedeniyle periodontal ligamentin hasar görmesi ve replantasyon işleminden önce kök yüzeyinin uzun süre kuru kalması

2. Dentin tübüllerinin açığa çıkması

3. Dentin tübüllerinin bakterileri barındıran nekrotik pulpa dokusu ve lökosit bölgesi arasında iletişim kurması

4. Yaş faktörü

Yapılan çalışmalar yukarıda bahsi geçen faktörlerin rezorpsiyonun başlamasında etkili olduğunu desteklemektedir. Örneğin replante edilen gelişimi henüz tamamlanmamış genç daimi dişlerde diş enflamatuvar kök rezorpsiyonu yaşlı dişlere göre daha sık görülmektedir.⁸⁹

Enflamatuvar rezorpsiyon, enfekte pulpa dokusu dışındaki nedenlerden kaynaklanan enflamatuvar bir süreçten dolayı da meydana gelebilir. Örneğin marjinal periodontal enflamasyon maymunlarda rezorpsiyon ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, marjinal periodontitiste reataşman prosedürlerinden sonra marjinal enflamasyon ve kök rezorpsiyonu arasında bir ilişki olduğu bulunmuştur.⁹⁰

Diş enflamatuvar kök rezorpsiyonu bulunan dişlerde vitalite testlerine negatif

cevap görülür. İlerleyen vakalarda diş kuronunun renginde değişik gözlenebilir. Dikey veya yatay perküsyonda diş hassasiyeti ortaya çıkabilir.⁹¹ Enflamatuvar yanıt kronik olduğunda diş genellikle asemptomatiktir. Ancak enfeksiyonun akutlaşması durumunda dişte perküsyon hassasiyeti ve şişlik gerçekleşebilmektedir.⁵⁰

Radyografik olarak hem kökte hem de alveolar kemikte sert dokuların kaybı ve çanak benzeri defektler görülebilir. Radyolüsensinin kenarlarının şekli hafif düzensiz olup lezyon dişin orta hattına göre asimetric olarak yerleşmektedir. Rezorpsiyonun lokalizasyonu ile ilgili olarak radyolüsensi apikal, lateral veya servikal bölgede görülebilir.⁶⁸

Dış enflamatuvar kök rezorpsiyonu başarılı bir tedavi prosedürü ile durdurulabilir. Pulpal veya periapikal patoloji teşhis edildiği zaman hemen kök kanal tedavisine başlamak gerekir ve medikaman olarak kalsiyum hidroksit kullanımı önerilir.⁹²

Dış Replasman Kök Rezorpsiyonu

Enfektif olmayan kök rezorpsiyonunun en yıkıcı türlerinden biri olan replasman rezorpsiyonu adından da anlaşılacağı üzere, diş yapılarının alveolar kemikle aşamalı olarak değişimini içeren ve nihayetinde diş kaybı ile sonuçlanan bir dış kök rezorpsiyon türüdür.⁵⁰

Etiyolojisi öncelikle avülsiyon olmak üzere intrüzyon gibi lüksasyon yaralanmaları ile ilişkilidir. Dış replasman kök rezorpsiyonu; kök yüzeyinin hasara uğramış bölgesinde, sementle iyileşmenin mümkün olmaması, periodontal ligamentin geniş nekrozu ve hasarın ataşman yapısı olmadan iyileşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Ankiloz genellikle dişin replantasyonundan 4 ile 6 hafta sonra teşhis edilebilir.^{21,84} Replantasyondan sonra ankiloz gelişimi ile ilgili olarak yapılan son çalışmalarda canlı bir periodontal ligamentin kemik hücrelerinin invazyonuna direnen bir anti-invazyon faktörüne sahip olduğu belirtilmiştir.⁹³ Periodontal ligament hücrelerinin canlılığının kaybolduğu lüksasyon yaralanmalarında, dişlerin uygun olmayan saklama koşulları nedeniyle kuruduğu veya periodontal ligamentte büyük hasarların meydana geldiği bilinmektedir. Böylece kök yüzeyinde periodontal ligament hücreleri olmadan iyileşme meydana gelmektedir ve iyileşme sürecinde dentin ile alveol kemiği kaynaşmaktadır.⁹⁴

Dış replasman kök rezorpsiyonunun genellikle belirgin bir semptomu olmamaktadır ve klinik belirtiler ancak kökün %10-20'si etkilendiğinde ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan üç önemli klinik bulgu şu şekildedir:

Perküsyon hassasiyetinde değişiklik:

Diş uygulanan perküsyon testinde yüksek tiz veya metalik ses duyulmaktadır. Bazı durumlarda ankiloz geçici olup dişte meydana gelen hasar bir yıl içinde ortadan kaybolabilir ve perküsyon normal tonuna dönebilir. Yüksek tiz perküsyon tonu, kök yüzeyinin% 20'si etkilendiğinde ortaya çıkmaktadır.⁸⁴

Hareket kaybı:

Dişin fizyolojik mobilitesi kaybolmaktadır. Klasik olarak bu durum, dişin labiolingual yönde manuel palpasyonu ve Miller indeksinin kullanımı ile değerlendirilebilir. Periotest gibi elektronik cihazlar da mobilite tayininde kullanılabilir. Çalışmalar, kök yüzeyinin % 10'undan fazlasının etkilendiği vakalarda dişte hareket kaybının olduğunu göstermektedir.⁹⁵

Dişin infraoklüzyonda kalması:

Bitişik dişler sürmeye devam ettiğinde etkilenmiş dişin infraoklüzyon durumunda olduğu tespit edilebilir. Genç hastalarda ankiloz normal kemik büyümesini ve gelişimini zorlaştırabilir. Böylece maloklüzyon veya karşıt dişlerin supererüpsiyonu gibi sorunlara neden olabilir.⁹⁶ Bu durumun hastanın yaş faktörü ile ilişkisi oldukça önemlidir. Dış replasman rezorpsiyonu 10 yaşından küçük hastalarda daha sık gözlenirken 12-16 yaş aralığında daha az görülmektedir. Pubertal büyümeden sonra ise oldukça nadir karşılaşılmaktadır.⁹⁷ Ankiloze dişler genellikle 16 yaşından önce erkeklerde ve 14 yaşından önce kızlarda infraoklüzyonda kalabilmektedir.⁹⁸

Yedi ve onaltı yaş arası hastalarda dış replasman kök rezorpsiyonunun başlangıcından sonra diş 3-7 yıl içinde kaybedilebilir. Ancak yetişkinlerde 20 yıla kadar dişin fonksiyonda kaldığını gösteren olgu raporları bulunmaktadır.⁸⁹ Ankilozun ilerleme hızı doğrudan travma ile kök yüzeyinde oluşan hasarın şiddetine ve hastanın metabolizmasına bağlı olarak değişir(86).

Dış replasman kök rezorpsiyonunun patogenezi iki şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunlar geçici ve ilerleyen olarak kategorize edilebilir. Geçici rezorpsiyon kendi kendini sınırlar ve bitişik sağlıklı periodontal ligamentten gelen hücrelerle kendini onarabilir. İlerleyen rezorpsiyon, periodontal ligamentin kapsamlı veya tamamen kaybı nedeniyle kökün tamamının rezorpsiyonuna neden olan sürekli bir oluşumdur. Kök yüzeyinin % 20' sinden fazlası hasar gördüğünde ilerleyici ankiloz olasılığı önemli ölçüde artmaktadır.⁹⁶

Ankiloz bir hastalık süreci olmayıp bir "hata" olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çünkü kemiğin yeniden yapılandırılmasında (remodelling) rol oynayan hücreler sement, dentin ve kemik arasında ayırım yapamamaktadır. Alveol kemiğin normal remodelling sürecine dahil olmasıyla diş dokuları kademeli olarak kemik dokusuyla yer değiştirmektedir.⁵

Superpoze olan yapılar ve kemik iliği boşlukları nedeniyle radyografilerde ankilozu tanımlamak zordur. Dış replasman rezorpsiyonunun erken evrelerinde radyografilerde hiç belirti olmayabilir. Dış replasman rezorpsiyonu labial veya lingual yüzeylerde meydana gelirse geleneksel iki boyutlu radyografilerde teşhis edilemeyebilir. İlerlemiş lezyonlarda ise lamina duranın tamamen veya kısmi kaybı gözlenebilir ve rezorpsiyonun derecesine bağlı olarak kök dentini düzensiz veya ‘güve yeniği’ görüntüsüyle izlenebilir. Kemik zamanla diş kökünün yerini alır. Bu aşamadan sonra radyografide kemik ile diş dokuları arasındaki doğal radyolüsensi izlenememektedir.⁹⁹

Dış kök replasman rezorpsiyonu vakalarının periyodik olarak takip edilmesi gerekir. Etkilenen dişler, kökün kemikle tamamen yer değiştirmesiyle kronun düşmesinden önce yıllarca ağızda kalabilir.⁵

Dış Servikal Kök Rezorpsiyonu

Dış servikal kök rezorpsiyonu genellikle dişlerin servikal kısmında; epitelyal ataşmanın apikalinde ve alveolar kret tepesinin üstünde başlamaktadır. Servikal yerleşimi, invaziv ve agresif doğası ile karakterize edilen bu rezorptif süreç, çoğu zaman diş yapısında önemli bir kayıpla sonuçlanmaktadır.¹⁰⁰ Dış servikal kök rezorpsiyonu dişin servikal bölgesinin sement, dentin ve mineyi aşamalı olarak rezorbe eden fibrovasküler doku istilasası ile karakterizedir.¹⁰¹ Bu alanda yapılan ilk araştırmalar, invaziv servikal rezorpsiyonun benign bir neoplazm veya fibröz bir displazi olduğunu düşündürmüştür.¹⁰² Günümüzde ise klinikte doğru ve zamanında teşhis konulamayan durumlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Genellikle iç kök rezorpsiyonu veya servikal çürük lezyonları ile karışmaktadır ve uygun olmayan tedaviler nedeniyle diş kaybı ile sonuçlanmaktadır.⁷³ Heithersay 1994 yılında dış kök rezorpsiyonunun bu tipini tanımlamak için invaziv servikal rezorpsiyon terimini kullanmıştır.¹⁰³

Sürmekte olan dişlerin kuronlarında da benzer bir invaziv rezorpsiyon görülebilir. Bu vakalar için invaziv koronal rezorpsiyon terimi uygun görülmele birlikte, benzer bir nitelikte fakat daha apikalde lokalize olan rezorpsiyon türü ise invaziv radiküler rezorpsiyon olarak adlandırılmaktadır.⁷

Dış Servikal Kök Rezorpsiyonunun Etiyopatogenezi

Dış servikal kök rezorpsiyonunun etiyojisini kesin olarak belirlemek zordur. Etiyolojisinde sistemik ve lokal predispozan faktörler rol oynamaktadır. Kök yüzeyinin servikal bölgesine hasar verebilecek ve bu nedenle dış servikal kök rezorpsiyonunu başlatabilecek çeşitli etiyojik faktörler gösterilmiştir. Bunlar dış travması, ortodontik tedavi, kron içi beyazlatma, periodontal tedavi, komşu dişin çekilmesi, maloklüzyon, üflemeli çalgı aletlerinin kullanımı, gömülü dişler (alt ikinci azı dişlerini etkileyen alt üçüncü azı dişleri), ototransplantasyon, kedi virüslerinin insanlara bulaşması, herpes zoster, kistler, tümörler, yan kesici dişlere sürmekte olan kanin dişlerinin basıncı, sistemik ve genetik faktörler, bisfosfanatların kullanımı ve idiyopatik etiyojiyi içermektedir.^{25,104}

Heithersay ve ark. tarafından değişen derecelerde invaziv servikal kök rezorpsiyonu gösteren 222 hastada toplam 257 diş potansiyel predispozan faktörler açısından analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Predispozan faktörlerden biri olan kron içi beyazlatma öyküsü olan 33 (%14,9) hastanın 10'unda (%4,5) beyazlatma, 17'sinde (%7,7) beyazlatma ve travma öyküsü, 2'sinde (%0,9) beyazlatma ve ortodontik tedavi, 4'ünde ise (%1,8) beyazlatma, travma ve ortodontik tedavi kombinasyonu gibi ilave predispozan faktörlerin olduğu rapor edilmiştir. Belirlenen potansiyel predispozan faktörlerden ortodontik tedavi en sık görülen etken iken travma ikinci en sık görülen etken olarak belirlenmiştir. Cerrahi, derin kök debridmanını içeren periodontal tedavi ve bruksizm gibi diğer sebepler düşük insidans göstermiştir. Otuz üç hastada (%14,9) ise potansiyel bir predispozan faktör tespit edilememiştir.¹⁰⁵

Friedman ve ark. dış servikal kök rezorpsiyonunun etiyojisinde beyazlatmanın rolünü araştırdıkları çalışmada beyazlatma yapılan 58 dişin sadece 2'sinde (%3,5) rezorpsiyon saptandığını belirtmişlerdir. Hiçbir olguda ameliyat öncesi veya sonrası travma öyküsü olmamıştır²³. Ayrıca Harrington ve Natkin'in ilk raporunu takiben kron içi beyazlatmanında en yaygın predispozan faktörlerden biri olduğu belirtilmiştir.¹⁰⁶

Kök dentinini rezorpsiyondan sementin koruduğu düşünülmektedir. Epitelyal bağlantının altındaki bu koruyucu sement tabakasının hasar görmesi veya eksikliği durumunda kök yüzeyi osteoklastlara maruz kalabilir ve daha sonra dentinde rezorpsiyon başlayabilmektedir. Mine-sement birleşiminin anatomik profili de bu bölgeyi dış servikal kök rezorpsiyonuna yatkın hale getirebilir ve bu birleşimin anatomik analizi dış servikal kök rezorpsiyonunun etiyojisini anlamakta önemli rol oynamaktadır.¹⁰⁷ Araştırmacılar

rezorpsiyonun sementteki bazı gelişimsel veya edinilmiş kusurların bir sonucu olarak periodontal ligamentin diş dokusuna invaze olmasından kaynaklandığını da düşünmektedir.¹⁰⁸

Diş kökü dışarıdan rezorpsiyona karşı dirençli, klastik hücrelerin yapışması için uygun olmayan, demineralize presegment tabakası ile kaplıdır. Bu katman predentin ve dentinden oluşur. Bu tabakanın üzerine 490 µm kalınlığa kadar kemik benzeri reperatif bir dokunun birikmesine rağmen ilerlemiş olgularda rezorpsiyon kök kanalını perfore edebilir.⁸² Kök rezorpsiyonu, odontoblast tabakasına verilen hasar ile başlar, ardından klastik hücreler hasarlı kök yüzeyine hızla kolonize olur ve daha sonra rezorpsiyon devam eder.¹⁰⁹ Başlangıçta odontoklast hücreleri dişe bir veya daha fazla küçük giriş noktasından nüfuz eder ve çok sayıda kanal üzerinden yayılır. Dış servikal kök rezorpsiyonu kök içinde çevresel olarak veya koronal-apikal yönde yayılabilir.¹¹⁰

Diş Servikal Kök Rezorpsiyonunun Sınıflandırılması

Heithersay diş servikal kök rezorpsiyonunu; boyutunu ve kök kanalına yakınlığını ve aynı zamanda lezyonun koronal ve kök dentinine penetrasyonunu da dikkate alarak sınıflandırmıştır. Sınıflandırma geleneksel radyografilere dayanmaktadır:

Sınıf 1: Servikal bölgeye yakın, küçük, dentin içine sığ nüfuz eden invaziv rezorptif lezyon.

Sınıf 2: Koronal pulpa odasına yakın nüfuz eden ancak radiküler dentin içine çok az veya hiç uzantısı olmayan lezyon.

Sınıf 3: Lezyonun kökün koronal üçte birine daha derin invazyonu.

Sınıf 4: Kökün koronal üçte birlik bölümünün ötesine uzanan geniş invaziv rezorptif lezyon.¹⁰¹

Bu sınıflandırma diş servikal kök rezorpsiyonunun sadece bir dişin proksimal yönü ile sınırlı olduğu ve lezyonun 2 boyutlu olarak değerlendirilebildiği durumlarda geçerlidir. Lezyon kökün bukkal veya lingual kısmında lokalize olduğunda ise sınıflandırmanın kullanımı zorlaşmakta olup ayrıca lezyonun çevresel veya pulpal tutulumunu da tanımlayamamaktadır. Bu nedenle çoğu diş servikal kök rezorpsiyonu lezyonunun mevcut sınıflandırma kullanılarak 3 boyuta uygun şekilde tanımlanması imkânsız hale gelmektedir. Patel ve ark. yaptıkları çalışmada KIBT tekniğini kullanarak diş servikal kök rezorpsiyon lezyonu için yeni bir sınıflandırma önermişlerdir. Bu öneri doğrultusunda lezyonun yüksekliği, çevresel yayılımı ve kök kanalına yakınlığı göz

önünde bulundurularak dış servikal kök rezorpsiyonunun 3 boyutlu olarak sınıflandırılması mümkün olmuştur. ¹¹¹

Yükseklik

Lezyonun koronal-apikal yöndeki yüksekliği, kök yüzeyi içindeki maksimum vertikal yayılımına ve kemik kret seviyesine göre derecelendirilir. Lezyonun kemik kretine göre seviyesi tedavi planlamasında önemlidir. Mine-sement birleşimi ve apeks sabit referans noktası olarak alınarak dişin kök kısmı koronal, orta ve apikal üçlü olarak ayrılmaktadır. Lezyonun yüksekliği en doğru şekilde periapikal radyografler veya koronal ve sagittal KIBT görüntüleri ile değerlendirilebilir.

Sınıf 1: Mine-sement bağlantı seviyesinde veya kemik kretinin koronalinde (suprakrestal) lokalize olmaktadır.

Sınıf 2: Kökün koronal üçte birine ve kemik kretine doğru (subkrestal) genişlemektedir.

Sınıf 3: Kökün orta üçte birine kadar genişlemektedir.

Sınıf 4: Kökün apikal üçte birine kadar genişlemektedir.

Çevresel Yayılım

Lezyonun çevresi, kök içindeki maksimum yayılmasına göre derecelendirilir. En iyi aksiyal KIBT görüntüleri kullanılarak değerlendirilebilir.

A: ≤ 90

B: $>90 - \leq 180$

C: $>180 - \leq 270$

D: >270

Kök Kanalına Yakınlığı

Lezyonun kök kanalına yakınlığı, aksiyal KIBT görüntüleri kullanılarak değerlendirilebilir.

d: Dentin ile sınırlı lezyon

p: Muhtemelen pulpa ilişkili lezyon

Periapikal radyografi ve KIBT taraması değerlendirildikten sonra lezyonun maksimum yüksekliği, çevresel yayılımı ve derinliği not edilir. Böylece lezyonun üç

boyutlu durumu değerlendirilebilmektedir.

Dış Servikal Kök Rezorpsiyonun Klinik ve Radyolojik Özellikleri

Dış servikal kök rezorpsiyonunun klinik görünümü farklılıklar gösterebilir ve erken teşhisi genellikle zordur. Her ne kadar dişin krunundaki pembe renk değişimi diş hekimini rezorpsiyona karşı uyarsa da bazı dişlerde daha derinde meydana gelebilecek lezyonlar belirti vermeyebilir. Klinik olarak dış servikal kök rezorpsiyonu genellikle asemptomatik başlamaktadır ve tamamen tesadüfen klinik veya radyografik muayenede teşhis edilmektedir. Daha ileri vakalarda, rezorpsiyon pulpayı etkilediğinde hasta; geri dönüşümlü pulpitis, geri dönüşümsüz pulpitis veya perküsyona hassasiyet ve sinüs yolu varlığı gibi apikal periodontitis semptomları hissedebilir. Hatta hastada ağrı ve lokalize şişlik oluşabilir. Şişlik, genellikle radiküler uzantılara sahip geniş bir lezyonun belirtisidir.⁷ Lezyon görüntüsü, dişeti kenarındaki küçük bir değişiklikten diş kronunun pembe renklenmesine kadar değişmektedir. Bu renk değişikliği, lezyon kavitesindeki yüksek oranda vaskülerize granülasyon dokusunun rezorbe ettiği incelmış dentin ve yarı saydam mine ile görünür hale gelmesinin bir sonucudur. Dış servikal kök rezorpsiyonu bulunan dişler pulpa nekrozu nedeniyle de renk değiştirebilir. Bu gibi durumlarda dişlerde gri renk değişikliği izlenmektedir.¹⁰ Öncelikle, odontoklast hücreleri interprizmatik mineyi çözdüğü için mine dış yüzeyi nispeten bozulmadan kalmaktadır.¹¹²

Klinik muayenede dişlerin proksimal yüzeyinde bulunan lezyonlar kolayca tespit edilemese de labiyal veya lingual bölgelerdeki geniş kavitasyonlu servikal defektler doğrudan gözle muayenede izlenebilir veya dental sond veya periodontal skaler ile sondalamada tespit edilebilir. Rezorpsiyon kaviteleri veya ilişkili periodontal cebin sondalanması vasküler rezorptif doku nedeniyle aşırı kanamalı olmaktadır.⁷³ Dış servikal kök rezorpsiyonunu subgingival çürüklerden ayırmak önemlidir. Çürük kavitesi sondlamada yumuşak veya yapışkan hissedilirken dış servikal kök rezorpsiyon kavitesinin tabanı sert ve düzensiz olmaktadır.¹¹³ Granülasyon dokusu temizlendikten sonra, kavite duvarları sondlama sırasında sert ve mineralize hissi vermektedir. Boşluğun kenarları genellikle keskin ve sınırlı görünmektedir. Dış servikal kök rezorpsiyonu bulunan dişler sıklıkla pulpa vitalite testlerine olumlu cevap vermektedir. Pulpa sadece çok komplike vakalarda etkilenmektedir.¹

Dış servikal kök rezorpsiyonunun tespiti için başlangıçta periapikal radyografiler kullanılmaktadır. Dış servikal kök rezorpsiyonunun radyografik görünümü

genellikle değişken olup lezyonun boyutu ve yapısından etkilenmektedir. Genellikle dişin servikal bölgesinde, kök kanalının ana hatlarının izlenebilir olduğu düzensiz kenarları olan asimetrik bir radyolüsensi olarak görülür. Kalsifik dokunun birikmesi daha radyoopak benekli bir görünüme neden olabilir ve bu durum lezyonun gelişiminde reperatif bir aşamayı temsil etmektedir.⁸² Giriş noktasını tanımlamak mümkün olmasa da kök kanalının ana hatlarından ince radyoopak çizgi ile ayrılan bir radyolüsensinin varlığı, diş hekimini invaziv servikal rezorpsiyon olasılığı konusunda uyarmalıdır. Çünkü lezyon genellikle küçük ve proksimal yüzeyde konumlanmış olabilir.⁷

İç ve diş kök rezorpsiyonunu ayırt etmek ve pulpa kanalının devamlılığını takip etmek için paralaks radyografi tekniği kullanılabilir. Meziodistal yönde farklı bir açıdan çekilmiş ikinci bir radyografide iç kök rezorpsiyonundaki durumun aksine diş kök rezorpsiyonunda defektin kök kanalıyla ilişkisini değiştirdiği izlenmektedir. İç kök rezorpsiyon lezyon görüntüsü, x-ışını açısına dikkat edilmeksizin kök kanal sisteminin merkezinde konumlanmış kalırken, diş servikal kök rezorpsiyonu lezyonu ise ışınlanma açısına bağlı olarak yer değiştirmektedir. Erken evredeki diş servikal kök rezorpsiyonu lezyonu ile radyografide dişin kole bölgesinde radyolüsent bir bant gibi görünen servikal 'burn-out' arasında da ayırım yapılmalıdır.¹¹⁴

Periapikal radyografilerin iki boyutlu olması ve geometrik distorsiyonu nedeniyle dentoalveoler anatomi hakkında bize sınırlı bilgi vermektedir.¹¹⁵ KIBT kullanılarak diş servikal kök rezorpsiyonu defektinin gerçek boyutu, yeri, çevresel yayılımı, kök kanalına yakınlığı ve erişilebilirliği hakkında bilgi edinilebilir.¹¹⁶

Dış Servikal Kök Rezorpsiyonunun Tedavisi

Dış servikal kök rezorpsiyonunun tedavisi defektin boyutuna, kökteki lokalizasyonuna, lezyonun kök kanal sistemi ile ilişkisine ve dişin restore edilebilirliğine bağlıdır. Dış servikal kök rezorpsiyonu tedavisinden temel beklentimiz dişleri sağlıklı ve fonksiyonel bir durumda tutmak ve gerektiğinde estetiği korumaktır.¹ Dış servikal kök rezorpsiyonu tedavisinin amacı; rezorptif dokunun küretajı, sert doku defektinin estetik ve biyoyumlu bir malzeme ile kapatılması ve lezyonun tekrarının önlenmesidir.¹¹⁷ Tedavinin başarısında lezyonun boyutu ve konumu oldukça önemlidir. Heithersay yaptığı çalışmada lezyonun sınıfına göre başarı oranlarının farklı olduğunu belirtmiştir. Başarı oranı diş servikal kök rezorpsiyonu Sınıf 1 ve Sınıf 2 için %100, Sınıf 3 için %78 ve Sınıf 4 için %12,5'tir. Sınıf 4 rezorpsiyonlar için bildirilen %88 gibi yüksek başarısızlık oranı,

bu dişlerde prognozun oldukça düşük olduğunu göstermektedir.¹¹⁸

Dış servikal kök rezorpsiyonu tedavisi için eksternal yaklaşım, internal yaklaşım, periyodik takip ve dişin çekilmesi gibi farklı tedavi yaklaşımları önerilmiştir.¹¹⁹ Bunlara ek olarak literatürde birkaç farklı tedavi seçeneği önerilse de çoğunlukla birkaç olgu raporuyla sınırlıdır. Bu tedavi seçenekleri ise kasıtlı replantasyon, yönlendirilmiş doku rejenerasyonu ve dişin ortodontik sürdürülmesi gibi tedavileri içerir.¹²⁰

Dış servikal kök rezorpsiyonu lezyonlarının tedavisinde eksternal yaklaşım cerrahi tedaviyi kapsamaktadır. Dış semptomatik, lezyon kök kanalını perfore etmiş veya defektin küretajı sırasında kök kanalı perfore olmuşsa diş endodontik tedavi uygulanması gerekmektedir. Cerrahi tedavi genellikle mukoperiostal flep kaldırılması, küretaj, defektin restorasyonu ve flebin orijinal pozisyonuna yerleştirilmesini içermektedir.¹²¹ Tedavinin bir büyüteç veya dental operasyon mikroskobu yardımıyla yapılması önerilmektedir. Granülomatöz doku keskin bir ekskavatör yardımıyla temizlenmelidir. Rezorptif dokunun eksik çıkarılması durumunda dış servikal kök rezorpsiyonunun tekrarlama söz konusu olabilir.¹

Defekti restore etmek için amalgam, kompozit, cam iyonomer siman gibi dolgu malzemeleri kullanılabilir. Ağız ortamıyla iletişimin olduğu durumlarda defektin kompozit veya cam iyonomer siman restorasyonu ile restore edilmesi önerilmiştir.⁸⁰ Amalgam, kompozit ve cam iyonomer siman ile restorasyon yapıldığında periodontal reataçman oluşması beklenemez. Ancak günümüzde popülaritesi giderek artan mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentine tamir materyallerinin kullanılması durumunda periodontal reataçmanın mümkün olabileceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır.^{122,123}

Dış servikal kök rezorpsiyonu kök kanal sistemine çok yakın olduğunda veya kök perforasyonu gerçekleştiğinde, aynı zamanda cerrahi yolla lezyona ulaşmak için fazla diş dokusu kaldırılması gerektiğinde tedavi yöntemlerinden internal yaklaşım önerilmektedir. Bu durumda ilk önce endodontik tedavi daha sonra da rezorptif defektin restorasyonunun yapılması tavsiye edilmektedir.¹²⁴

Klinik prognoz esas olarak rezorpsiyonun boyutuna dayanır. Rezorpsiyon boyutu diş hekiminin en iyi tedaviyi seçmesi için bir rehber görevi görür. Bu nedenle rezorptif sürecin radyografik değerlendirmesi, dişin ayırıcı tanısı ve tedavisi dişin prognozu için oldukça önemlidir. KIBT kullanımı dış servikal kök rezorpsiyonunun tedaviye uygun olup olmadığının belirlenmesi ve uygun bir tedavi planlaması açısından

yararlı bir yaklaşım olmaktadır.¹²⁵

Dış servikal kök rezorpsiyonu lezyonlarının restoratif tedavisi; histolojik ve yapısal özellikleri nedeniyle diş hekimlerini zorlayan durumlardan biridir. Dış servikal lezyonların sınırları mine, sement veya dentinde yerleşmekte olup subgingival bir konuma sahiptir. Bu nedenle bu tür lezyonlar ağız sıvılarıyla sürekli temas halinde olmaktadır. Bazı durumlarda defektin bir kısmına erişilememekte veya boşluk uygun şekilde izole edilememektedir.¹²⁶

Dış kök rezorpsiyonunun tedavisinde farklı materyaller kullanılabilir. Bu tedavi sırasında kullanılan dolgu materyali bağ dokusu ile doğrudan temas halinde olup periradiküler ve pulpal hücrelerin canlılığını etkileme potansiyeline sahiptir. Bu koşullar altında apoptoz veya nekroz oluşma ihtimali vardır.¹²⁷ Bu nedenle iyi bir sızdırmazlık sağlamasına ek olarak toksik maddeler içermeyen veya biyouyumlu, doku sıvılarının varlığında çözünmeyen ve periradiküler dokuların rejenerasyonunu destekleyebilen malzemelerin kullanılması tercih edilir.¹²⁸

Yüzey Rezorpsiyonu

Yüzey rezorpsiyonu kök yüzeyinde kendiliğinden yıkım ve onarımın gerçekleştiği geçici bir süreçtir. Kök yüzeyinde az miktarda sement tabakası ile dentin dokusunu içine alan ve oldukça sığ olan bu rezorpsiyon türü çevresindeki periodonsiyumda lokalize ve sınırlı bir hasarın sonucu olarak ortaya çıkabilir. Tüm dişlerde değişen derecelerde görülebilir ve normal bir fizyolojik cevap olması muhtemeldir.¹²⁹ Etiyolojisinde sublüksasyon veya konküzyon gibi dişin destek dokularında oluşan düşük yoğunluklu bir travma ve ortodontik tedavi önemli role sahiptir. Travma olgularında kök yüzeyinin ve alveolar kemiğin direkt mekanik hasarı sebebiyle rezorpsiyon meydana gelebilir.⁵⁰

Yüzey rezorpsiyonu dış kök rezorpsiyonunun en ılımlı seyreden şekli olmakla birlikte kendi kendini sınırlayan bir oluşumdur ve bu nedenle tedavi gerektirmemektedir.⁸⁶ İki veya üç hafta boyunca kendini sınırlayan bir osteoklastik aktivite süreci gözlenir. Bunu takiben kök yüzeyi ve sement dokusunda iyileşme ve periodontal ligamentin reataşmanı tekrar oluşur. Sement ve dentinin en dış tabakalarında küçük yüzeysel rezorpsiyon kavileri oluşur. Başka bir uyarıcı faktör olmadığında bu tür rezorpsiyon kavileri sorunsuz bir şekilde iyileşir. Bitişik alveolar kemikte yıkım izlenmemektedir.¹³⁰

Klinik muayenede herhangi bir rezorpsiyon belirtisi olmamakla beraber hasta genellikle rahatsızlık hissetmemektedir. Dişin supragingival kısmında belirgin bir rezorpsiyon belirtisi saptanamaz.⁹¹ Dişler asemptomatik ve vitaldir. Aynı zamanda mobilitesinde de herhangi bir artış veya dişte ankiloz görülmemektedir.²¹ Bu sürecin aslında son derece yaygın olduğu ancak klinik olarak çok farkedilemediği düşünülmektedir.⁵ Yüzey rezorpsiyonu küçük boyutundan dolayı radyografilerde genellikle izlenmemektedir. Tespit edildiği durumlarda radyografide normal lamina dura ve periodontal aralık ile kök yüzeyinde küçük aşınmalar şeklinde izlenmektedir. Kökün dış yüzeyi veya apeksinde ortaya çıkabilen bu küçük aşınmalar radyografide bazen köklerin normalden daha kısa görünmesine neden olabilir.⁸⁴

Tedavisinde pulpa canlı ise herhangi bir işlem yapılmaz, hasta belirli aralıklarla kontrole çağırılır.⁵

Geçici Apikal Yıkım

Kök ucunun ve komşu kemiğin enfeksiyon kaynaklı olmayan, geçici bir rezorpsiyonudur. Rezorpsiyon, geçici diş renklenmesine ve kök kanalı obliterasyonu olan dişlerde pulpa duyarlılık testine gecikmiş veya negatif bir cevaba neden olabilir. Geçici apikal yıkımın 12 ay içinde düzeldiği bildirilmiştir.⁴³ Sarsılmanın dışındaki lüksasyon yaralanmalarında ve avülsiyon olgularında apikal kan damarlarında şiddetli hasar meydana gelmektedir. Klinik olgulara ve apeksi açık avülse dişlerde yapılan replantasyon çalışmalarına dayanarak, pulpanın iyileşme potansiyeli olduğu bildirilmektedir.¹³¹ Travma tipi açısından ise geçici apikal yıkım ile en çok sublüksasyon yaralanmalarında karşılaşılırken, ekstrüzyon ve lateral lüksasyon olgularında da geçici apikal yıkıma rastlanmıştır. Apeksi kapalı dişlerde geçici apikal yıkım görülmesi beklenmemektedir. Dişte oluşan travma sonucunda yer değiştirme miktarı arttıkça geçici apikal yıkım görülme şansı azalmaktadır.¹³²

2.4. Dış Kök Rezorpsiyonunun Tedavisinde Kullanılan Restoratif Materyaller

2.4.1. Cam İyonomer Siman

Cam iyonomer simanlar asit bazlı simanlar olarak bilinen dental malzemedir. Zayıf polimerik asitin bazik alümino-silikat cam toz partikülleri ile reaksiyonunun ürünü materyalin baz maddesini oluşturmaktadır.¹³³ Cam iyonomerler ilk olarak 1969'da üretilmiş ve 1972'de Wilson ve Kent tarafından tanıtılmıştır. Kent bu yapıdaki

malzemeleri cam iyonomer siman olarak adlandırmıştır.¹³⁴

Cam iyonomer siman için suda çözünür polimerik asit, bazik cam partikülleri ve su olmak üzere üç temel bileşen vardır. Cam partikülünün üç esas komponenti ise silisyum oksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve kalsiyum oksittir (CaO). Toz yapıda genellikle kalsiyum oksit (CaO) yerine stronsiyum oksit (SrO) veya çinko oksit (ZnO) kullanılmakta ve bunlara ek olarak kalsiyum florür (CaF_2) de bulunmaktadır.¹³⁵ Stronsiyumun kalsiyumun yerini alması simana herhangi bir dezavantaj sağlamamakla birlikte materyalin radyoopasitesini arttırmaktadır.¹³⁶

Cam iyonomer simanın sertleşmesi, temel olarak iyon salınan camla, polialkenoik asitin asit-baz reaksiyonu ile olmaktadır. Bu tepkime iki adımda gerçekleşmektedir:

1.Çözünme Fazı: Asit, cam partiküllerinin yüzeyine hücum eder ve cam yüzeyinden alüminyum, flor, kalsiyum veya stronsiyum gibi iyon salınımı gerçekleşir. İyon salınımıyla, zincir şeklinde olan asit molekülleri daha polarize ve linear bir yapı gösterir; bu da karboksil gruplarının iyonlar için daha ulaşılabilir olmasını sağlar.

2.Donma Fazı: Alüminyum ve kalsiyum iyonları salınması ile donma reaksiyonu başlar. Öncelikle daha hareketli olan kalsiyum iyonları çapraz bağlanmaya başlar. Bu olay, karıştırma aşamasında simana viskozite verir. Toz ve likit karıştırılmaya başlandığı andan itibaren donma fazı 10 dakika sürer ve bu süreye ‘klinik çalışma zamanı’ denir. Daha sonra 24 saat boyunca alüminyum iyonları, polialkenoik asit zincirlerine ayrılmaz bir şekilde bağlanırlar ve böylece maturasyon fazı gerçekleşir. Maturasyon fazı, simanın fiziksel özelliklerinin güçlendiği aşamadır.

Sertleşme tepkimesi tamamlanmış bir simanda, etrafı silikoz bir jel yapı ile çevrili aktive olmamış cam partikülleri, poliasit-tuz yapıda bir matris içinde dağılmış şekildedir.¹³⁷

Restoratif materyallerin bağlanma özelliği diş hekimliğinde çok önemlidir. Bağlantısı üstün materyaller marjinal sızıntıyı azaltarak sekonder çürük oluşumunu engellemektedir.¹³⁸ Rezin bazlı kompozitler gibi diğer kalıcı dolgu malzemeleri ile karşılaştırıldığında cam iyonomer simanlar nemli mine ve dentine yapışabilme özelliğine sahiptir. Mineye bağlanma gücü dentine göre daha yüksektir.¹³⁹ Cam iyonomer simanın diş adezyonu hem kimyasal hem de mikromekanik bağlanma ile sağlanmaktadır. Cam iyonomerlerin içeriğindeki poliasit bileşen sayesinde sahip olduğu ‘self etch’ asitlenme özelliğinin mikromekanik bağlanmaya katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Cam

iyonomer simanlar hidroksiapatitler ile kimyasal olarak bağlanmaktadır ve bu bağlanma poliasit moleküller üzerindeki karboksil grupları ile dış yüzeyindeki kalsiyum iyonları arasında oluşan iyon bağları vasıtasıyla oluşmaktadır.¹⁴⁰

Flor salınımı cam iyonmer simanların önemli avantajlarından biridir. Dış sert dokularına sürekli olarak düşük seviyelerde flor salınımının yararlı olduğu bilinmektedir. Cam iyonmer simanlardan salınan flor miktarının dışın hassasiyetini azaltabildiği belirtilmiştir.¹⁴¹

Cam iyonmerlerin diş hekimliğinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Özellikle süt dişlerinde daimi dolgu, kaide materyali, pit ve fissür örtücü ve ortodontik braketler için yapıştırıcı olarak kullanılmaktadırlar.¹⁴² Literatürde cam iyonmer simanların dış servikal kök rezorpsiyonu lezyonlarının tedavisinde kullanılması da önerilmektedir.¹⁴³

2.4.2. Mineral Trioksit Agregat (MTA)

Endodontide ilk biyoseramik esaslı materyal olarak kullanılan Mineral Trioksit Agregat (MTA), 1990'lı yılların henüz başlarında Mahmoud Torabinejad tarafından geliştirilmiştir. İçeriği Portland çimentosuna dayanır. İlk olarak endodontik tedavi sırasında oluşan kök ve kavite perforasyonlarının kapatılmasında ve retrograd olarak kanalların doldurulmasında kullanılmıştır. 1998 yılında Amerikan Federal İlaç İdaresi (FDA) tarafından onaylanmıştır. İlk ticari formu ProRoot MTA (Dentsply/Tulsa Dental, Tulsa, OK, USA) olarak piyasaya sürülmüştür ve sonrasında Angelus MTA (Beyaz/Gri-MTA, Angelus, Londrina, PR, Brazil) ve CPM (Beyaz- MTA, Egeo, Buenos Aires, Argentina) takip etmiştir. Portland çimentosu ve MTA birbirine yakın içeriklere sahip olup, kimyasal ve fiziksel olarak benzer özellikler göstermektedir.¹⁴⁴ İkisinin arasındaki en büyük fark MTA'nın potasyumu içermemesidir bir diğer fark ise MTA, bizmut oksit içermektedir.¹⁴⁵ MTA'nın çalışma süresi daha fazladır. MTA'nın parçacık boyutu ise portland çimentosundan daha küçüktür.¹⁴⁶ MTA içeriğinde trikalsiyum alüminat, dikalsiyum silikat, trikalsiyum silikat, bizmut oksit ve trikalsiyum oksit içeren bir kalsiyum silikat simandır.¹⁴⁷ MTA'nın radyoopasitesini içeriğindeki bizmut oksit sağlamaktadır.¹⁴⁸

Kalsiyum hidroksit MTA'nın hidrasyon ürünüdür. Kalsiyum hidroksit, MTA suyla karıştırıldıktan 4 saat sonra salınmaya başlar ve 7. güne kadar artarak salınmaya devam eder. Kalsiyum hidroksit ortamdaki karbondioksitle etkileşerek kalsiyum karbonat

oluşturmasından dolayı, birinci aydan itibaren azalmaya başlar ve toplamda bir yıla kadar salınımı devam eder. Toplamda oluşan kalsiyum hidroksit miktarı Portland simanı ile karşılaştırıldığında MTA'da daha fazla miktarda olduğu görülmüştür.¹⁴⁹ Ortaya çıkan kalsiyum hidroksit iyonlarının dokudaki karbondioksit ile etkileşime girerek kalsit kristallerinin meydana getirmesi, MTA'nın sert doku oluşumunu uyarır ve bunun sonucunda yapım mekanizması desteklenmiş olur.¹⁵⁰

MTA'nın kemik yapımını uyarmasının, MTA'nın kalsiyum iyonu salınımı yapmasından dolayı olduğu ileri sürülmüştür. Kalsiyum iyonları dokulardaki fosfatlarla etkileşerek hidroksiapatit kristallerini oluşturmaktadır.¹⁵¹

MTA gri ve beyaz olarak ikiye ayrılmaktadır. Gri MTA'nın kuronların renklenmesine sebebiyet verdiği bildirilmiştir ve bunun sonucunda estetik kaygının fazla olduğu anterior dişlerde uygulanması için beyaz MTA geliştirilmiştir. Gri olan ilk formunda içeriğinde demir iyonları bulunmasından dolayı renklenmeye sebebiyet vermektedir. Beyaz MTA'nın içeriğinden demir iyonları çıkarılmıştır.¹⁵² Yapılan bir çalışmada gri MTA'nın içeriğindeki alümino-ferrit fazının beyaz MTA'da bulunmamasının, oluşan renklenmenin sebebi olduğu bildirilmiştir.¹⁵³ Beyaz MTA'nın, gri MTA'dan başka farkı ise boyutsal genişmesi daha az olan daha küçük çaplı partiküller içermesidir.¹⁵⁴ Gri ve beyaz MTA'nın içeriğinde trikalsiyum silikat ve bizmut oksit bulunur. Beyaz MTA'nın içeriğinde dikalsiyum silikat bulunmamaktadır.¹⁵⁵

MTA, perforasyon tamirinde, vital pulpa tedavilerinde, retrograd dolgu materyali olarak, apeksifikasyonda, rezorpsiyon tamir materyali olarak ve endodontik dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.¹⁵⁶

2.4.3. Biodentin

Kalsiyum silikat esaslı bir materyal olan Biodentin(Septodont, Saint Maur des Fosses, Fransa) ilk defa 2009'da ortaya çıkmıştır. MTA'nın uzun sertleşme süresi, manipülasyon zorluğu ve kuronda renklenmeye sebebiyet verme gibi dezavantajlarına karşın üretilmiştir. Kapsül formda üretilmiştir. Tozunda zirkonyum oksit, kalsiyum karbonat, trikalsiyum silikat; likitinde ise su ve kalsiyum klorit içermektedir.¹⁵⁷ Biodentinin, dentin ile yakın özellikte olduğu ve 12 dakikada sertleştiği öne sürülmüştür. Bununla beraber MTA'nın aksine sertleşme esnasında neme gerek duymadığı bildirilmiştir.¹⁵⁸

Kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrat Biodentin'in sertleşmesi sırasında

ortaya çıkan ürünlerdir. Kalsiyum karbonat, kalsiyum silikat hidrat jelleri için çekirdekleşme merkezi olarak, indüksiyon sürecini hızlandırır ve sertleşme süresini kısaltır.¹⁵⁹ Biodentin'in başlangıç sertleşmesi ürünün üretici talimatında 9-12 dakika iken, Grech ve ark.¹⁶⁰ tarafından yapılan bir çalışmada sertleşmenin tamamlandığı süre 45 dakika olarak belirtilmiştir. Kalsiyum kloritin sertleşme süresini kısalttığı bildirilmiştir.

Biodentin tek kullanımlık kapsüller halinde üretilmiştir. Uygulama için hazır hale getirilebilmesi için kapsül içerisine beş damla likit damlatılarak 30 saniye amalgamatörde karıştırılması gereklidir. Biodentin apeksifikasyon tedavilerinde, perforasyonların tamirinde, vital pulpa tedavilerinde ve kök rezorpsiyonlarının tamiri gibi endodonti uygulamalarında kullanılmaktadır.¹⁶¹

2.4.4. Geristore

Geristore, florür salan cam iyonmer (baryum, florosilikat) ve polimerize edilebilir bir organik matristen oluşan hidrofilik, susuz, poliasit ile modifiye edilmiş bir kompozit rezindir.¹⁶² Rezin modifiye cam iyonmerlerin avantajları, diş yapısına kuvvetli bağlantı, ağız sıvılarında düşük çözünürlük, düşük polimerizasyon büzülmesi, düşük termal genleşme katsayısı, radyoopasite, florür salınımı ve biyoyumluluktur.¹⁶³ Yapılan çalışmalarda, Geristore'un biyoyumlu olduğu, subgingival defektlerin onarımında ve yönlendirilmiş doku rejenerasyonunda kullanıldığında büyük klinik başarıya sahip olduğunu gösterilmiştir. Farklı kök ucu dolgu malzemelerinin dişeti fibroblast hücreleri üzerindeki etkisini değerlendiren bir çalışmada, MTA'ya kıyasla Geristore'un daha biyoyumlu olduğu bildirilmiştir.¹⁶⁴

2.4.5. Diğer Tamir Materyalleri

MTA ve biyoseramik esaslı malzemeler son yıllarda hekimler arasında rezorpsiyon tamiri için sıklıkla tercih edilen popüler materyaller olsa da amalgam, ışıkla sertleşen rezin kompozit, çinko oksit ojenol, kalsiyum fosfat siman gibi geleneksel materyallerin de kullanımı devam etmektedir.⁷

Amalgam

Diş hekimliğinde amalgam şimdiye kadar birçok farklı amaç için kullanılmıştır. Çoğunlukla restoratif dolgu materyali olarak kullanılsa da endodontik rezorpsiyonların restorasyonunda da tercih edilmiştir. Amalgam; uygulama kolaylığı, yüksek radyoopasitesi, rezorbe olmaması gibi avantajlarından dolayı rezorpsiyon tamir materyali olarak kullanılmaktadır. Rezorpsiyon tamirinde kullanılan amalgamın olumlu

özelliklerinin yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Başlangıç sitotoksitesi yüksektir ve bu amalgamın civa içeriğinden kaynaklanmaktadır. Sert ve yumuşak dokuları boyaması istenmeyen özelliklerinden biridir. Ayrıca başlangıç marjinal sızıntısının iyi olmaması tedavinin prognozunu olumsuz etkileyebilmektedir.¹⁶⁵

Kompozit

Işıkla donan kompozit dolgularda aktif monomerlerden kaynaklanan toksik etkilerin azalmasına karşın, hala zararlı etkileri söz konusudur. Kompozitin, lateral perforasyon onarımı için kullanıldığında amalgam ve IRM'den daha iyi sızdırmazlık yeteneği gösterdiği bildirilmiştir.¹⁶⁶

2.5. Diş Hekimliğinde Kullanılan İleri Düzey Görüntüleme Sistemleri

Geçişten günümüze kadar bazı dezavantajları olmasına rağmen, konvansiyonel radyografi, görüntüleme sistemleri içinde majör dayanak olmuştur. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte görüntüleme sistemlerinde çeşitli ilerlemeler kaydedilmiştir. Konvansiyonel radyograflerin bu dezavantajlarını gidermek amacıyla ileri düzey görüntüleme teknikleri geliştirilmiştir.¹⁶⁷ Bunlar, bilgisayarlı tomografi (BT), konik ışınli bilgisayarlı tomografi (KIBT) ve mikro bilgisayarlı tomografi (mikro BT) dir.

2.5.1. Bilgisayarlı Tomografi

Bilgisayarlı tomografi, dokuların ince kesitler halinde birçok düzlemde üç boyutlu olarak incelenebilmesini sağlayan bir görüntüleme tekniğidir. Aslında tıp alanında kullanılmak için geliştirilmiştir fakat diş hekimliğinde de kullanım alanı bulmuştur. Sonrasında bazı eksiklikleri sebebiyle diş hekimliğinde kullanımı terk edilmiştir. Bunlardan bazıları; görüntünün elde edilmesi aşamasında geçen zamanın fazlalığı, hastanın maruz kaldığı yüksek düzey radyasyon, yüksek maliyete neden olması, ince detayları görüntüleme de görüntü kalitesinin düşük olmasıdır.¹⁶⁸

2.5.2. Konik Işınli Bilgisayarlı Tomografi

Bu görüntüleme yönteminde karşılıklı olarak konumlanmış dedektör ve X ışını kaynağı, görüntülenecek cisim etrafında senkronize şekilde dönerken 360 derecelik bir tarama yapılmış olur. Belirli derece aralıklarla, işlenmemiş ham görüntüler oluşturulur. Bu ham görüntülerden yazılım programları ile üç boyutlu veriler elde edilir.¹⁶⁹

Konvansiyonel radyograflerde görüntü, piksel adı verilen 2 boyutlu görüntünün en küçük birimlerinden oluşurken, 3 boyutlu görüntüleme teknikleri voksel adı verilen birimlerden oluşur. Her bir vokselin canlıda karşılık geldiği bölgenin absorbe ettiği X

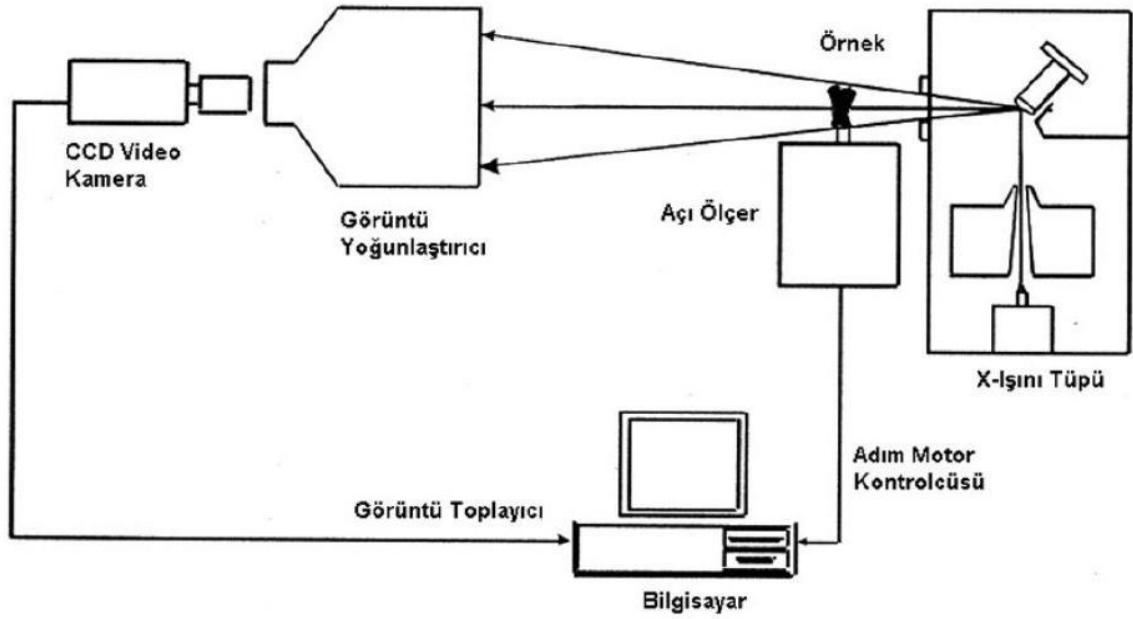
ışını miktarına göre bir nicel karşılığı bulunmaktadır. KIBT görüntüleri, voksellerin birleşerek meydana getirdiği bir matriksten oluşmuştur. Bu matriks yazılım programıyla tek tek gri tonlarda renklendirilir.¹⁷⁰ Rekonstrüksiyon işlemi adı verilen bu aşamalardan sonra görüntü üç boyutlu olarak oluşturulmaktadır.¹⁷¹

KIBT’de hastaya verilen radyasyon dozu konvansiyonel radyografilere göre daha fazla olmasına rağmen, BT’ye göre daha azdır.¹⁷² KIBT endodontide kök kırıklarının ve perforasyonlarının tespitinde, dış kök rezorpsiyonlarında, kök kanal morfolojisinin incelenmesinde, periradiküler lezyonların değerlendirilmesinde ve in vitro çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu görüntüleme yönteminde elde edilen ölçüler gerçek boyuttadır ve komşu anatomik dokuların süperpozisyonu oluşmamaktadır.¹⁶⁹ Ancak KIBT’nin dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan biri görüntüde X ışınına bağlı olarak bazı artefaktların oluşmasıdır.¹⁷³

2.5.3. Mikro Bilgisayarlı Tomografi

Mikro bilgisayarlı tomografi, alınan kesitleri mikron düzeyinde incelterek çok daha yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilmesi amacıyla üretilmiştir. İncelenen cisimden 0.5-2 mm arasında kesitler alınarak görüntü oluşturulmaktadır. Alınan kesitlerin kalınlığı ne kadar küçük olursa oluşan görüntü daha yüksek çözünürlükte olur. Mikro BT 1982’de Jim Elliot tarafından geliştirilmiştir.¹⁷⁴

1999 senesinde yapılan bir çalışmada deneysel endodonti araştırmaları için merak uyandıran bir cihaz olduğu bildirilmiştir. Mikro BT yapı olarak bilgisayarlı tomografiye benzerdir. Mikro BT cihazının parçaları X ışını tüpü, üzerine incelenecek cismin sabitlenen adım motoru, X ışınını toplayarak kamera üzerindeki sensöre yönlendiren görüntü yoğunlaştırıcısı, görüntü oluşturan CCD kamera, görüntü toplayıcısı ve kontrol merkezi bir bilgisayardır.¹⁷⁵ Mikro BT’nin şematik diyagramı şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Mikro BT şematik diagramı¹⁷⁶

Mikro BT’de X ışını ile incelenen örneğin bir platform etrafında 0 ila 180 derece döndürülerek çok sayıda grafiği elde edilir. Bilgisayar yazılım programlarıyla elde edilen bu veriler üç boyutlu görüntülere çevrilir. Bu işleme yeniden yapılandırma anlamına gelen 3D rekonstrüksiyon denilmektedir.¹⁷⁷

Mikro BT, endodontide kök kanal preparasyonu ile kök kanal dolgusunun değerlendirilmesinde ve kök kanal morfolojilerinin incelenmesinde kullanılmıştır. Bununla birlikte Mikro BT in vivo koşullarda görüntüleme için kullanılamamakta olup, sadece in vitro araştırmalarda kullanılan bir görüntüleme cihazıdır.¹⁷⁸⁻¹⁸⁰

2.6. Stres Analiz Yöntemleri

Dental travma sonrası dişte ve komşu dokularda oluşan biyomekaniksel etkiler tam olarak bilinmemektedir. Dental travma sonrası oluşan yaralanmanın tahrip edici etkilerini belirleyen faktörler; gelen darbenin enerjisi, şekli, direnci ve gelen kuvvetinin yönü olarak sıralanabilir. Dişe gelen düşük hız darbeleri, diş yapısına daha az zarar vererek, komşu yapılarına daha fazla hasar verme eğilimindedir; diğer taraftan dişe gelen yüksek hız darbeleri, komşu dokulara daha az zarar vererek diş kırığının daha fazla oluşmasına sebebiyet verir.¹⁸¹

Travma ile ilgili yapılan çalışmalarda, önceden in vivo hayvan modelleri kullanılmıştır.¹⁸² Fakat bu çalışmaların etik çizgileri tartışılır durumdadır ve çok pahalıdır. İnsan çalışmalarında, canlı dokuya travmatik kuvvet uygulamak etik değildir

ve uzun süreli insan çalışmalarını, takip etmesi zor ve masraflıdır. İn vitro modeller yetersizlikleri sebebiyle sınırlıdır. Periodontal ligament doğru bir şekilde taklit etmek zordur. Ex vivo modeller de bunlara benzer şekildedir. Kuvvet yayılımı ve dağılımını çözümlmek için yumuşak doku gibi önemli parçaların etkisini hesaba katmak gereklidir.⁸

Canlı dokuların, fonksiyonel ve travmatik kuvvetler karşısında nasıl bir tepki vereceğini tespit etmek, stres birikimi analizlerini yapmak oldukça zor ve masraflıdır.⁹ Bu sebeple stres analiz araştırmalarını canlı dokunun bir modeli üzerinde yapmak daha mümkün olmaktadır. Bir cismin üzerine gelen kuvvetlerin yoğunlaştığı bölgelerin görülmesi ve o cismin kuvvetler karşısında daha dayanıklı ve daha güçlü olabilmesi için nasıl bir yapıda olması gerektiğini önceden tespit etmek için çeşitli kuvvet analizleri yapılır.

Diş hekimliğinde kullanılmakta olan kuvvet analizi yöntemleri şunlardır:

1. Gerinim ölçer ile analiz yöntemi
2. Fotoelastik analiz yöntemi
3. Holografik interferometre ile analiz yöntemi
4. Kırılma vernikle kaplama yöntemi
5. Sonlu eleman stres analiz yöntemi¹⁸³

2.6.1. Gerinim Ölçer (Strain Gauge) Analiz Yöntemi:

Yük altında bulunan malzemelerde oluşan doğrusal şekil değişikliklerinin tespitinde kullanılan alete gerinim ölçer denilmektedir. Bu aletlerin mekanik, mekanikoptik, elektronik, elektrik, akustik ve optik özelliklere sahip farklı çeşitleri, bu çeşitlerin de farklı uygulamaları vardır. Belirli bir yük uygulandığı zaman alet, o bölgedeki basınç miktarını gösterir.¹⁸³

2.6.2. Fotoelastik Analiz Yöntemi:

Bu yöntemde karmaşık yapılar içinde meydana gelen mekanik iç baskı ve stresler, gözle görülebilir ışık taslakları haline dönüşür. Yani fotoelastik yöntem, saydam cisimler içinden geçen polarize ışığın çift kırılması olayına dayanan optik bir olaydır. Polarize ışık hüzmesi, yüklenmiş materyalden geçtiği zaman maddeyi farklı hızlarda geçen dikey titreşimlere dönüşür. Bu faz farkı Polariskop cihazı ile izlenir.¹⁸³

2.6.3. Holografik İnterferometre Analiz Yöntemi:

Hologram, cisimlerin üç boyutlu görüntüsünü elde etmek için bir ışık

kaynağından çıkan iki ışınının karşılıklı etkisiyle meydana getirdiği mikroskobik gerilim saçaklarının kaydedilmesi işlemidir. Bu kayıt sırasında ışık kaynağı olarak lazer kullanılır.¹⁸³

2.6.4. Kırılğan Vernikle Kaplama Yöntemi:

Brittle laquer adıyla da bilinen bu teknik ile kuvvet analizi, incelenecek olan model üzerine sürülen özel verniğin fırınlanmasından sonra kuvvet yüklenerek bölgede oluşan çatlakların yorumlanması esasına dayanır.¹⁸⁴

2.6.5. Sonlu Eleman Stres Analizi Yöntemi:

Sonlu eleman stres analizi yöntemi, biyomekanik parçaları küçük parçalara bölerek çözen ve bilgisayar destekli tasarım modellerinde stres ve gerilmeleri hesaplayan cebir tabanlı bir simülasyon tekniğidir.¹⁸⁵

Sonlu eleman stres analizi, aynı zamanda bir mühendislik metodudur. Yapılan hesaplamalara canlı dokular da dahildir. SESA'da analiz edilecek canlı ya da cansız yapıların modellenmesi gerçeğe en uygun biçimde yapılarak sayısal olarak ifade edilir. Son zamanlarda bilgisayar teknolojisinin de gelişmesiyle bu analizlerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bilgisayar destekli yapılan sonlu eleman stres analizi diğer analizlerle karşılaştırıldığında gerçeğe daha benzer sonuçlar vermektedir. SESA yönteminde analizi yapılacak materyal, sonlu sayıdaki parçalara bölünerek yapının kuvvet karşısındaki durumu matematiksel olarak incelenir.^{186,187}

1956 yılında ilk olarak havacılık endüstrisinde kullanılmıştır. Günümüzde havacılık, uzay mühendisliği, biyomedikal, otomotiv, jeoteknik, elektromanyetik, hidrolik ve nükleer enerji mühendisliği alanlarında kullanılması artmıştır.¹⁸⁸ Bu alanlarda üretilmesi planlanan protiplerin üretilmeden önce bilgisayar ortamında yapılan analizlerle en uygun dizaynın oluşturulmasına yardımcı olan bir yöntemdir. Diş hekimliğinde sonlu eleman stres analizi ile ilgili yapılan ilk çalışma Ledley ve Huang¹⁸⁹ tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, matematiksel model ile elde edilmiş bir dişe çeşitli yönlerde kuvvetler uygulanmış ve bu kuvvetlerin dişi destekleyen kemik dokusunda meydana getirdikleri gerilmeler değerlendirilmiştir. Yöntemin bugünkü anlamıyla diş hekimliğinde uygulanması Farah ve Craig tarafından yapılan bir çalışma ile başlamış ve son yıllarda birçok alanda kullanılmaya devam edilmiştir.¹⁹⁰

Diş hekimliğinde sonlu eleman analiz yöntemi şu alanlarda kullanılmıştır:¹⁹¹

1. Dental materyaller

- Diş ve tabakaları(Mine, dentin, pulpa)
- Amalgam
- Kompozit rezinler, cam iyonomer simanlar ve yapıştırma simanları
- Cam, seramik, zirkonyum sistemler
- Metaller ve metalik sistemler
- Post ve kanal dolgu maddeleri

2. Oral ve maksillofasiyal yapıların mekaniği ve cerrahisi

- Maksilla ve mandibula kırıkları ile bunların fiksasyonu, osteotomi
- Temporomandibular eklem mekaniği,
- Periodontal ligament, alveol kemik, trabeküler kemik, kortikal kemik
- İmplant materyalleri, mini vida ve plak

3. Ortodontik tedaviler, dişlerin hareket ettirilmesi, ortodontik apareyler

4. Konservatif ve endodontik tedaviler, kavitelerin modellenmesi, kole defektleri, kök kanal sisteminin modellenmesi, kanal içi stresler, kanal eğeleri, irrigasyon sistemleri ve iğneleri,

5. Dental restorasyonlar

- Dolgu materyalleri
- Kuron ve köprü protezleri
- Sabit ve parsiyel protezler
- Dental implantlar

6. Dizayn özellikleri

7. Materyal özellikleri

8. Kuvvet yüklemesi ve diğer parametreler

9. Osseointegrasyon

Laboratuvarda yapılan testlerde SESA yönteminin birçok avantajı olduğu bildirilmiştir. Bu yöntemde değişkenler kolaylıkla değiştirilebilir, insan materyaline gerek duyulmaz ve standardizasyon işlemi azami olarak sağlanır. SESA, en yüksek gerilme ve yer değiştirme noktalarını görselleştirmeye ve bunları daha iyi anlamamıza yardımcı olur¹⁸⁷. SESA yönteminin bir diğer avantajı ise sonlu elemanların boyutlarının ve şekillerinin çeşitliliği nedeniyle bir cismin geometrisinin tam olarak temsil

edilebilmesidir. Örneğin; dış yapısal ve morfolojik olarak simetrik olmamakla birlikte düzensiz bir yapıya sahiptir. Bu nedenle dış gibi düzensiz yapı ve geometrik özellikleri bulunan cisimlerin kolaylıkla incelenebilmesi, sınır şartlarının kolayca uygulanabilmesi bu yöntemi avantajlı kılar. Yöntemin çok yönlülüğü ve esnekliği sayesinde de sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak çok daha kolay hale gelebilir.¹⁸⁷ Bunlara ek olarak, SESA yöntemi diğer birçok yonteme göre daha az zaman alıcıdır.¹⁸⁸

Analizde kullanılan bilgisayar programları yüksek maliyetlere sahiptir ve çoğu zaman bu analizi yapmak için uzman kişilere ihtiyaç duyulmaktadır¹⁸⁸. Ayrıca bu yöntemler yapılan araştırmaların doğruluğu, malzeme özelliklerinin sisteme yüklenmesi gibi önemli noktalara bağlıdır.¹⁹²

SESA yöntemi karmaşık bir mekanik sorunun çözümünde rahatlıkla kullanılan bir teknik olup, incelenecek olan bölgeyi küçük ve basit alanlara (elemanlara) ayırarak incelemenin daha kolay olmasına olanak veren ve çözümü bu küçük parçalar içerisinde sağlayabilen bir yöntemdir.¹⁸⁶ Kısacası sonlu eleman analizi “parçadan bütüne gitme” prensibine dayanır.¹⁹³ Sonlu eleman stres analizi yönteminde mevcut problemlere çözüm oluşturabilmek için; mevcut olan tüm sistemin şekilsel fonksiyonları kullanılarak çok daha küçük ve basit parçalara, varyasyonel prensiplere dayanarak çözüm aranmaktadır.¹⁸⁶

SESA uygulaması genellikle iki boyutlu veya üç boyutlu modeller kullanılarak yapılır. Gelişmiş bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyulmadığı için iki boyutlu SESA yönteminin uygulanması daha kolaydır. Ancak özellikle dış gibi karmaşık geometriye sahip yapıların analizinde doğru sonuçlar vermeyebilir. Üç boyutlu SESA yönteminde tüm eksenlerdeki kuvvetler hesaba katılacağı için gerçeğe daha benzer sonuçlar elde edilebilir.¹⁸⁶ Yöntemin geçerliliği ve yapılan araştırmanın doğruluğu için, bazı kilit noktaların doğru verilmesinin tamamen araştırmacının sorumluluğuna dayanmasından dolayı çok detaylı bilgi aktarımını gerektirir.¹⁹²

Son yıllarda, dijital görüntü tekniklerinin gelişmesiyle daha doğru anatomik modeller elde edebilmek için daha etkili yöntemler mevcuttur. Sonlu eleman stres analizi uygulanacak olan deney materyalinin üç boyutlu katı modelinin oluşturulması için bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemiyle elde edilen bilgiler, 2 veya 3 boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarılmakta ve ağ yapısı (mesh) oluşturulmaktadır.¹⁸⁶

Bu yöntemlerin kullanılmasında karşılaşılabilecek olan en basit problem MR ve

BT görüntüleme sistemleri ile sonlu elemanlar stres analiz yönteminde kullanılacak olan katı modelin oluşturulmasında kullanılan CAD (Computer Aided Design- Bilgisayar Destekli Tasarım) programları arasında uyumsuzluk ve koordinat belirleme cihazlarıyla sayısallaştırılmış nokta veya yüzey datalarının üç boyutlu katı model haline getirilmesi için kullanılacak yazılımın yetersizliği olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, bu analiz yönteminin kullanıldığı durumlarda, katı model üzerinde gerekli düzenlemeler yapılarak modeller elde edilmelidir.¹⁹²

Cisimlerin katı modelinin oluşturulabilmesi için CAD programları kullanılmaktadır. Modelleme bir, iki veya üç boyutlu olarak yapılabilir. Gerçek dünyanın koordinat düzlemine uygun olarak oluşan kuvvetleri temsil etmek için üç boyutlu modelleme kullanılır. Her ekseninde olan kuvvetler hesaba katılacağı için, daha hassas ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilir.¹⁸⁶

SESA yönteminde uygulanması gereken temel aşamalar sırasıyla şunlardır:

1. Yapının modellenmesi ve elemanlara bölünmesi
2. Analiz verilerinin yüklenmesi (sınır şartlar)
3. Analizin çözümlenmesi

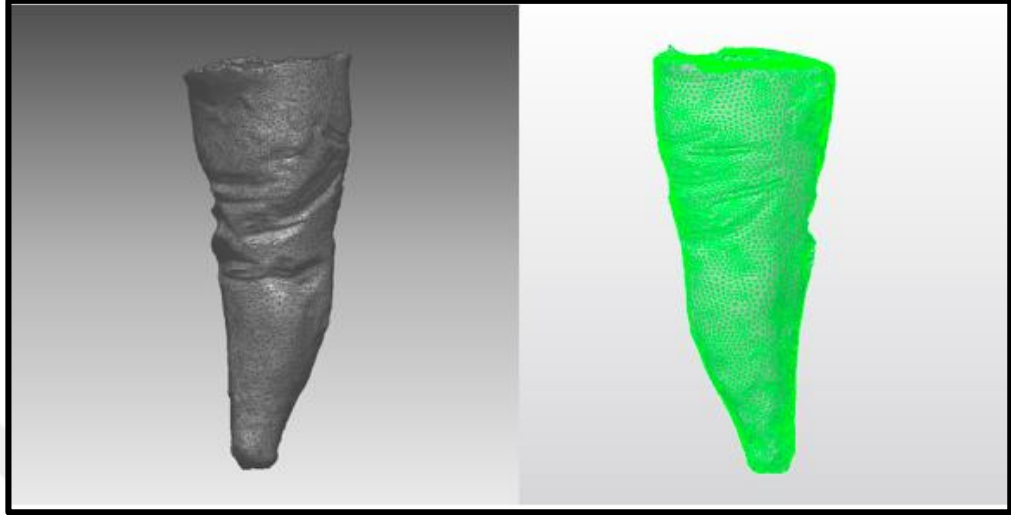
Yapının Modellenmesi ve Elemanlara Bölünmesi

Öncelikle sonlu eleman analizinin yapılabilmesi için tüm yapıların bilgisayar ortamına aktarılması ve bir model oluşturulması gerekmektedir. Bu teknik ileri düzey bir modelleme tekniğidir. Geometrik modeller, bilgisayar destekli tasarım programlarının yardımıyla oluşturulmakta ve kompleks yapıların modellenmesinde, üç boyutlu bilgisayarlı tomografi tarayıcısı, üç boyutlu lazer tarayıcısı ya da üç boyutlu çizim programlarıyla bilgisayar ortamında çizilmesi yöntemlerinden faydalanılabilmektedir.¹⁹⁴

Hazırlanan geometrik model birbirlerine düğüm noktalarında birleşen daha basit geometrik şekillere yani mümkün olduğunca fazla sayıda elemana bölünür. Eleman sayısının mümkün olduğunca fazla sayıda kullanılması kuvvet dağılımının daha duyarlı ölçülebilmesini sağlar ve gerçeğe daha benzer sonuçlar elde edilebilir.^{195,196} Elemanlar tek boyutlu (düz çizgiler), iki boyutlu (üçgenler, eşkenar dörtgenler) veya üç boyutlu (piramit veya tuğlaya benzer şekilli) ve değişik şekillerde olabilirler.¹⁸⁸

Elemanların birbirlerine bağlandıkları noktalara düğüm (node), tüm yapıya ise ağ (mesh) denmektedir.⁹ Diş modelinin ağ görüntüsü Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Oluşturulan model canlı bir yapının matematiksel bir modeli olduğu için doğal davranışın

tüm detaylarının aktarılması mümkün değildir, ancak model bilgisayar ortamında olduğu için değişkenler ve yükleme koşulları üzerinde istenildiği gibi değişiklik yapılabilir. Bu yüzden modelin iyi hazırlanması, yapılacak analiz için çok önemli bir basamaktır.¹⁹⁴



Şekil2.2.Diş modelinin ağ görüntüsü

Analiz Verilerinin Yüklmesi

Bu aşamada modellemesi yapılan elemanların materyal özellikleri, yükleme koşulları ve sınır şartları programa yüklenir. Gereken materyal özellikleri poisson oranı ve elastisite modülüdür fakat; yapılacak çalışmaya göre genleşme katsayısı, sürtünme katsayısı, termal iletkenlik gibi değerler de kullanılabilir.¹⁹⁷ Sınır şartları, hazırlanan modelin belirli düğüm noktalarından sabitlenmesiyle sağlanan yer değiştirme kısıtlamaları ve yükleme koşulları ile elde edilir. Yükleme koşullarının belirlenmesi ile materyale uygulanması düşünülen kuvvetin şiddeti, yönü ve açısı belirlenir.¹⁸⁶

Analizin Çözülmesi

Analiz sonucunda çıkan stres değerleri, matematiksel hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir ve bu değerlerin varyansı bulunmamaktadır. Bu sebeple bu değerlerin istatistiksel analizi yapılamamaktadır. Sonuçların detaylı bir şekilde incelenerek yorumlanması gerekir. SESA yönteminde stresin hangi bölgede ve ne kadar yoğunlukta oluşacağı sorusu cevaplanabilir. Bu sayısal analiz yöntemi her ne kadar karmaşık geometriye sahip mühendislik yapı sistemleri için geliştirilmiş olsa da, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere de paralel bir şekilde, dişhekimliği biyomekaniğinde de kullanım alanı bulmuştur.¹⁸⁶

Teknolojinin gelişmesi ve bununla bağlantılı olarak yüksek düzey işlemci yeteneğine sahip bilgisayarların gelişmesi sonucunda sonlu eleman analizi teknolojisi ve bu teknoloji ile kullanılan yazılım paketlerinin de gelişmesine sebep olmuştur. Sonlu eleman analiz yazılımları arasında, teknik olarak farklılıklar olmakla birlikte dış hekimliğinde en sık; ANSYS, SAP 80, SAP 86, SAP 90, IDEAS, NASTRAN, PAFEC 75, MARC VE PATRAN, PROENGINEER, SOLIDWORKS gibi yazılımlar kullanılır.¹⁸⁶

Sonlu eleman analizi yöntemini uygulayabilmemiz için bazı temel kavramları öğrenmemiz gerekir:

Stres

Bir cisme dışarıdan bir kuvvet uygulandığında, cisimde bu kuvvete karşı bir direnç gelişir. Dışarıdan gelen kuvvete içeriden bir tepki olan stres, bu kuvvetle eşit şiddette fakat zıt yöndedir. Hem uygulanan kuvvet, hem de içeriden gelen direnç cismin mevcut alanı üzerine dağılır. Bu durumda bir yapının içindeki stres; birim alan başına düşen kuvvetin miktarı olarak tanımlanır ve kuvvet birimi MPa'dır.¹⁸⁵

$$\text{Stres} = \text{Kuvvet}/\text{Alan}$$

Strain

Strain, gerilim uygulandığında, cismin her biriminde meydana gelen birim uzunluktaki değişimdir. Strain, cismin fiziksel bir deformasyonu (elastik veya plastik) şeklinde tanımlanır. Uzunluktaki değişimin orijinal uzunluğa oranıdır. Strain'in ölçü birimi yoktur. Stres, büyüklüğü ve yönü olan bir kuvvettir, strain ise bir kuvvet değil, sadece bir büyüklüktür, yani tamamen farklı niceliklerdir.¹⁹⁸

$$\text{Strain} = \text{Şekil değişikliği}/\text{Orijinal uzunluk}$$

Elastisite Modülü

Stresin strain'e oranıdır. Stres-strain eğrisinin doğrusal kısmındaki stres-strain oranı maddenin sertliğini verir ve birimi GPa (Gigapascal)'dır. Young's modülü olarak da bilinir ve elastisite modülü arttıkça cismin katılığı artar. Yani stres altında elastisite modülü yüksek olan materyal elastisite modülü düşük olan materyale göre daha az deformasyona uğrar.¹⁹⁸

$$\text{Elastisite modülü} = \text{Stres}/\text{Strain}$$

Poisson Oranı

Çekme ya da basmadaki yükleme sırasında; strain oluşumu, yükleme yönünde ve buna dik yönlerde eş zamanlı olmaktadır. Elastik sınır içinde yüklemeye dik yöndeki strainin yükleme yönündeki straine oranıdır.¹⁹⁸

Von Mises Stres

Von Mises stresi, sünek materyaller için şekil değiştirmenin başlangıcı olarak tanımlanır. Von Mises stresi materyal üzerinde oluşan stres dağılımları ve yoğunlaşmaları hakkında bilgi edinmemizi sağlar. İki veya üç boyutta oluşan stresleri birleştirerek, tek yönde yüklenen materyalin çekme (tensile) dayanıklılığını verir. Von Mises stres, kırılma dayanıklılığının ölçülmesindeki analizlerde de kullanılır.¹⁹⁹

Çekme Dayanımı

Bir yapıyı gerip uzatma eğiliminde olan bir yükün neden olduğu deformasyona karşı koyan bir kuvvettir. Cisimler düşük miktardaki kuvvetler karşısında elastik deformasyona uğrar ve kuvvet ortadan kalktığı zaman eski haline geri döner. Cismin üzerindeki gerilme artarsa kalıcı şekil değişikliğine uğrayarak plastik deformasyon gösterebilir.¹⁸³

Cisimlere çok eksenli yükleme yapıldığı durumlarda maddede plastik deformasyonun meydana gelip gelmediğini belirleyebilmek için, von Mises eşdeğer gerilimi rutin olarak kullanılmaktadır. Bir elementin von Mises eşdeğer gerilimi maddenin akma dayanımından daha yüksek seviyelerde ise bu elementte plastik deformasyonun gerçekleşmesi durumu mevcuttur. Aynı zamanda materyallerin çekme dayanımı da materyalde fraktür oluşup oluşmadığını belirlemek açısından önemli bir kaynaktır.²⁰⁰

Bu tez çalışmasının amacı; maksiller santral diş modelinin farklı kök seviyelerinde oluşturulan eksternal kök rezorpsiyonlarının farklı tamir materyalleri ile restore edildikten sonra üç boyutlu sonlu eleman stres analizi ile değerlendirilmesidir.

Bu tez çalışmasının hipotezi; maksiller santral diş modelinin farklı kök seviyelerinde oluşturulan eksternal kök rezorpsiyonlarının farklı tamir materyalleri ile restore edildikten sonra dişte oluşacak stres birikimleri arasında fark olmamasıdır.

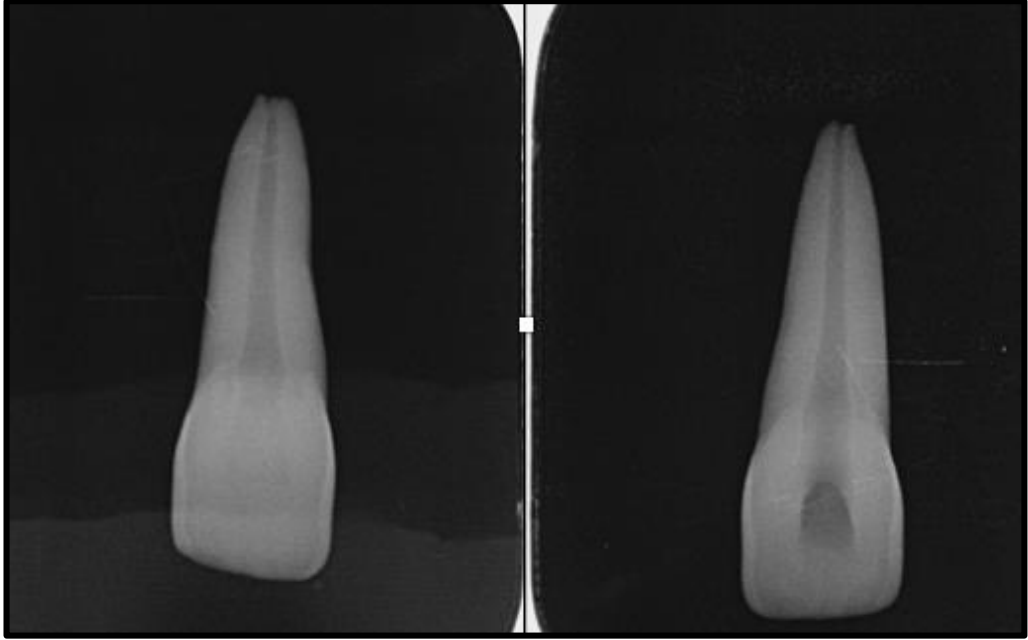
3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın etik kurul onayı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Klinik Araştırma Etik Kurulu'ndan OMÜ KA EK 2021/86 proje numarası ile 11.02.2021 tarihinde alınmıştır ve Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Komisyonu Başkanlığı tarafından PYO.D15.1904.21.006 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Çalışmamızın deney aşamaları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Endodonti Anabilim Dalı'nda, örneğin Mikro-BT cihazı ile taranması İnönü Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezinde (İBTAM) Micro BT Skyscan 1172 cihazı ile, sonlu eleman analizi ise Ay Tasarım Ltd. Şti.'de gerçekleştirilmiştir.

3.1 Çalışmaya Dahil Edilen Dişin Seçimi

Çalışmamızda 1 adet çekilmiş tek köklü ve tek kanallı maksiller santral insan dişi kullanılmıştır. Seçilen diş meziodistal ve bukkolingual yönde alınan iki periapikal radyografi ile incelenmiştir (Şekil 3.1). Örnek diş x2.5 büyütme lup (Eyemag Pro S, Zeiss, Oberkochen, Almanya) kullanılarak eksternal rezorpsiyon, çatlak, kırık, çürük, anomali varlığı açısından değerlendirilmiştir. Çalışmamız için daha önce endodontik tedavi görmemiş, kanal eğimi olmayan, kök ucu kapalı bir diş seçilmiştir.



Şekil3.1. Maksiller santral dişin bukkal ve palatinal yönden alınan periapikal röntgen görüntüsü

Dişin üzerindeki diş taşları ve periodontal doku artıkları peridontal küret yardımıyla temizlenmiş ve çalışmada kullanılmaya kadar %0.1 timol solüsyon

içerisinde oda sıcaklığında bekletilmiştir.

3.2 Örneğin Hazırlanması

Uygun giriş kavitesi yüksek hızlı el aleti ile su soğutması altında elmas rond frez(DIA.TESSIN,Vanetti,İsveç) yardımı ile hazırlanmıştır. Pulpa odasındaki pulpa boynuzları çelik rond frez ile kaldırılarak giriş kavitesi ideal formda oluşturulmuştur (Şekil 3.2).



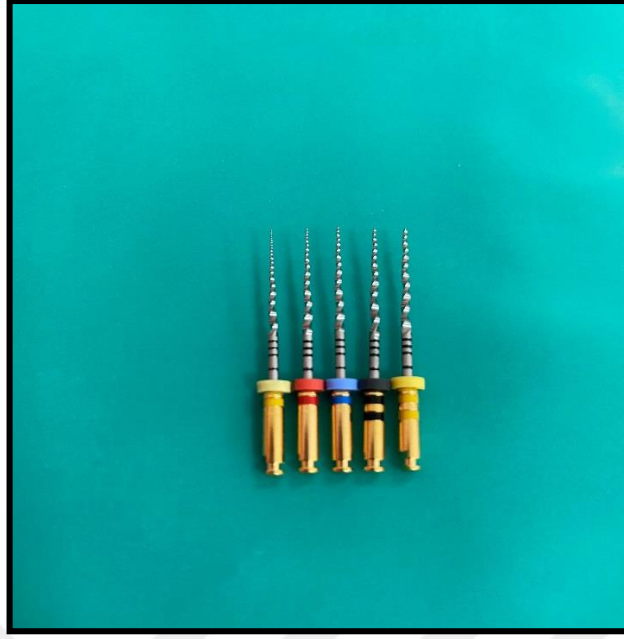
Şekil3.2. Maksillar santral dişin giriş kavitesi

10 numaralı paslanmaz çelik K tipi el eğesi (VDW GmbH, Münih, Almanya) kanal yolunun devamlılığını teyit etmek için kullanılmıştır. Çalışma boyu kanal eğesinin ucunun apikal foramenden görüldüğü noktadan 1mm kısa olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.3).

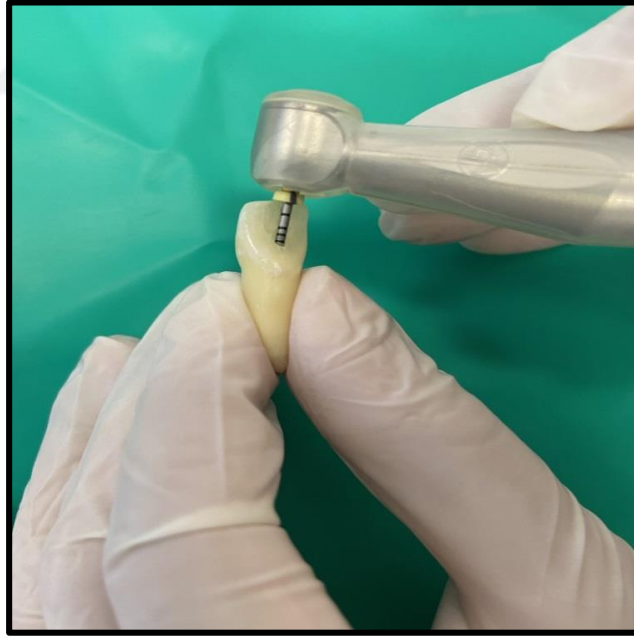


Şekil3.3. Kanal boyunun ölçülmesi

Kök kanalı, ProTaper Next (Şekil 3.4) nikel titanyum döner alet sistemi (Dentsply Maillefer, Ballaigues, İsviçre) kullanılarak üretici firmanın önerileri doğrultusunda belirlenen hız ve tork değerlerinde şekillendirilmiştir. Tüm preparasyon aşaması VDW GOLD endomotoru (VDW GmbH, Münih, Almanya) kullanılarak tamamlanmıştır. Sırasıyla ProTaper Next sistemine ait X1 (0.17/.04), X2(0.25/.06),X3(0.30/.07), X4(0.40/.06) ve X5 (0.50/.06) eğeleri ile çalışma boyuna kadar genişletme yapılmıştır(Şekil 3.5). Her eğe arasında 30 gauge kalınlığındaki yandan perfore enjektör iğnesi kullanılarak kök kanalları 2.5 mL %5 konsantrasyonlu sodyum hipoklorit (NaOCl) (Wizard, Türkiye) ile irrig edilmiştir.



Şekil3.4. ProTaper Next döner eğe sistemi



Şekil3.5. Preparasyon işlemi

Şekillendirme tamamlandıktan sonra sırasıyla 5 ml %5 konsantrasyonlu NaOCl, 1 dakika boyunca 5 ml %17 konsantrasyonlu EDTA (Werax,Türkiye) ve 5 ml serum fizyolojik solüsyonu (IE Ulagay, İstanbul, Türkiye) ile son yıkama gerçekleştirilmiştir.

Kök kanalı kağıt konlar (Pearl Endo, PearlDent, Vietnam) ile kanal içerisinde nem kalmayınca kadar kurutulmuştur.

3.3. Örneğin Mikro-BT ile Görüntülenmesi

Örnek, tarama için 100 kV güç ve 100 μ A akım ile çalıştırılan SkyScan 1172 (Bruker-microCT, Kontich, Belçika) Mikro BT cihazına yerleştirilmiştir. 11 Mega Piksel kamera yardımıyla, örnekten 10 μ m piksel boyutuna sahip 2000x1330 piksel çözünürlüğünde kesitler elde edilmiştir. Taramalar dikey ekseninde 180° dönme açısı, 0.4° dönme aralığı ve 1400 ms kamera ekspozür zamanı ile gerçekleştirilmiştir. Kesitlerden alınan DICOM (Digital Imaging and Commumation in Medicine) uyumlu görüntüler Ctan yazılımı (Bruker, Belçika) ile stereolitografi (STL) formatına dönüştürülmüştür.

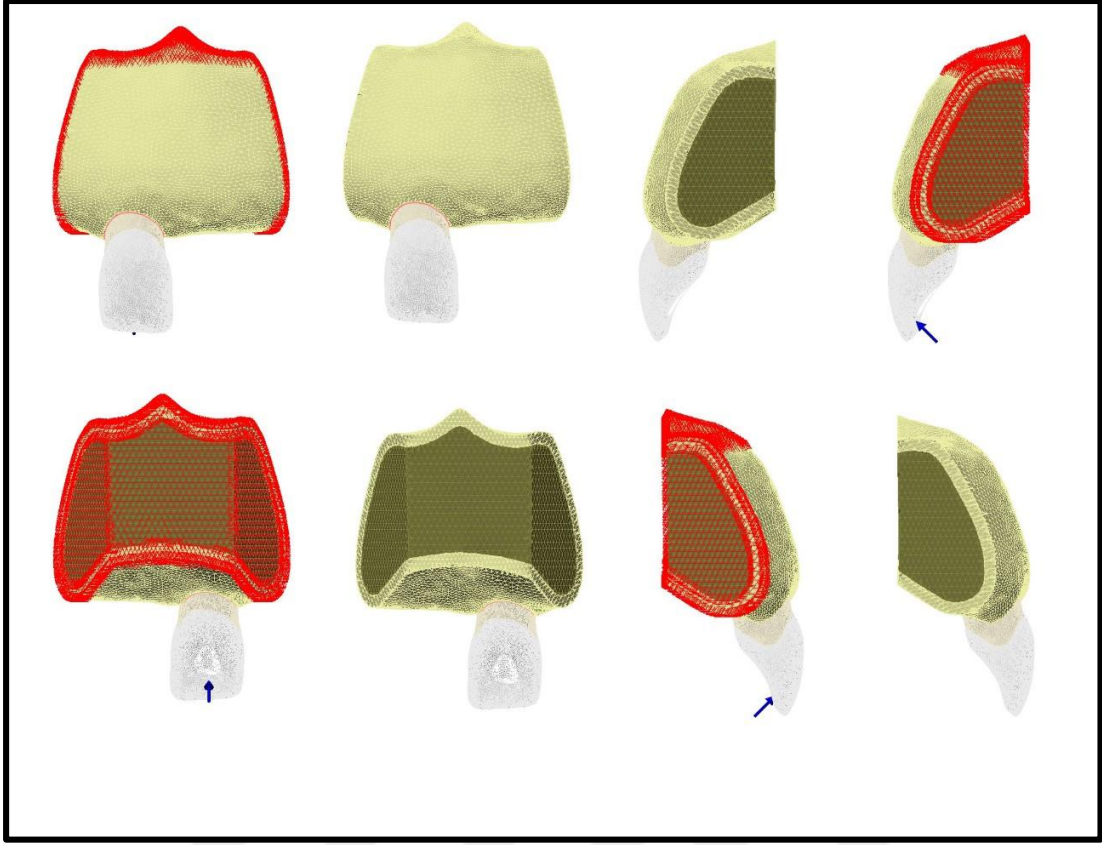
3.4. Mikro-BT Görüntüsünden Model Oluşturulması

Üç boyutlu ağ yapısının düzenlenmesi ve daha homojen hale getirilmesi, üç boyutlu katı modelin oluşturulması ve sonlu eleman stres analizi işlemi için Intel Xeon® R CPU 3,30 GHz işlemci, 500gb Hard disk, 14 GB RAM donanımlı ve Windows 7 Ultimate Version Service Pack 1 işletim sistemi olan bilgisayardan, Activity 880 (smart optics Sensortechnik GmbH, Sinterstrasse 8, D-44795 Bochum, Almanya) optik tarayıcısı (Şekil 3.6) ile 3 boyutlu taramadan, Rhinoceros 4.0 (3670 Woodland Park Ave N, Seattle, WA 98103 USA) 3 boyutlu modelleme yazılımından, VRMesh Studio (VirtualGrid Inc, Bellevue City, WA, USA) ve Algor Fempro (ALGOR, Inc. 150 Beta Drive Pittsburgh, PA 15238-2932 USA) analiz programından yararlanılmıştır.



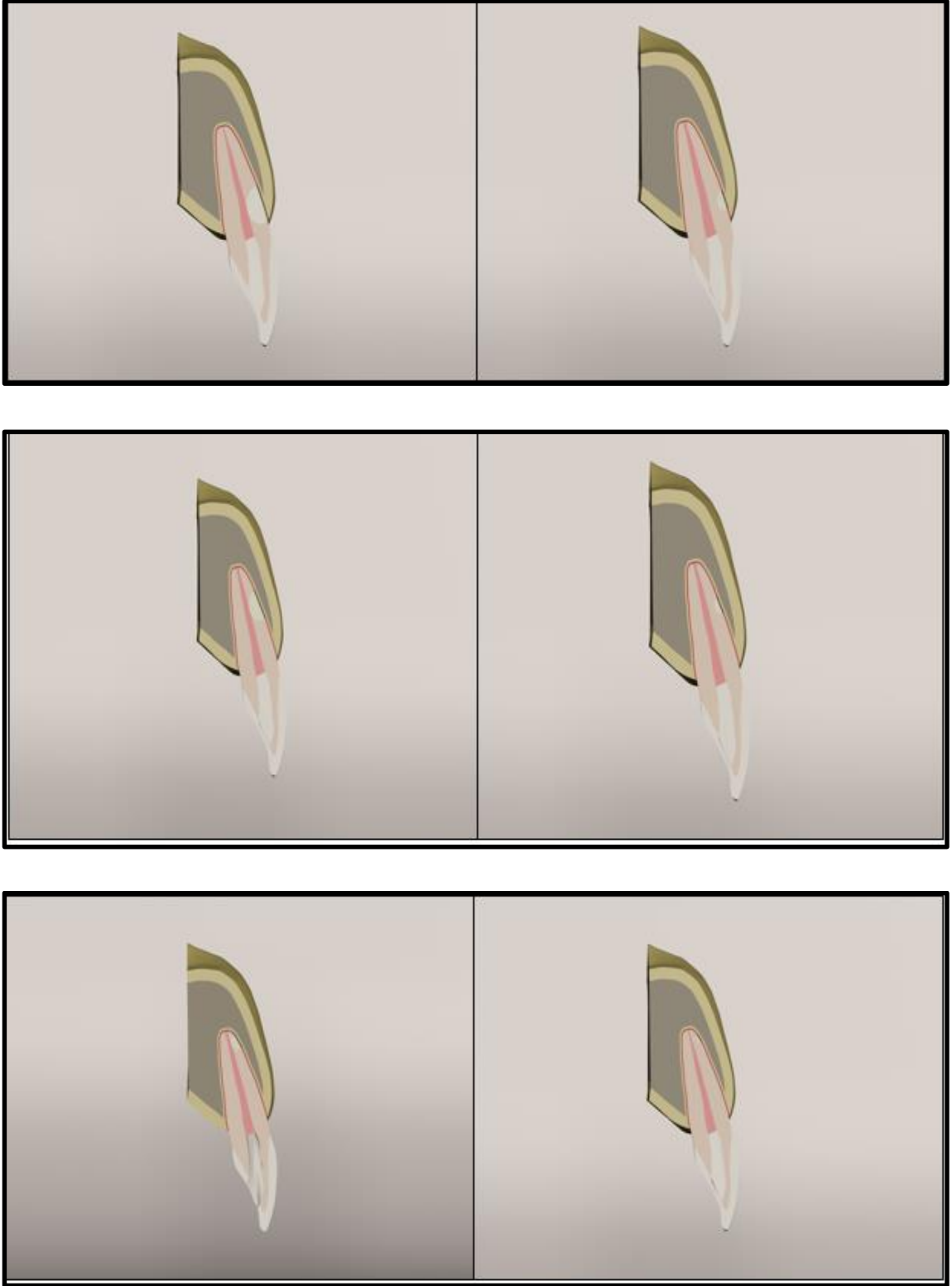
Şekil3.6. Üç boyutlu optik tarayıcı (Activity 880)

Modeller, VRMesh yazılımı ile geometrik olarak oluşturulduktan sonra analize hazır hale getirilmeleri ve analizlerinin yapılması için, stereolitografi (STL) formatında Algor Fempro (Algor Inc., USA) yazılımına aktarılmıştır. Stereolitografi (STL) formatı 3D modelleme programları için evrensel değer taşımaktadır. STL formatında düğümlerin koordinat bilgileri de saklanması sayesinde programlar arasında aktarım yapılırken bilgi kaybı olmamaktadır. Algor yazılımı ile uyumlu hale getirildikten sonra oluşturulan modelin maksillaya ait olduğunu, diş yapılarının hangi materyalden yapıldığını yazılıma tanıtmak gerekmektedir (Şekil 3.7).



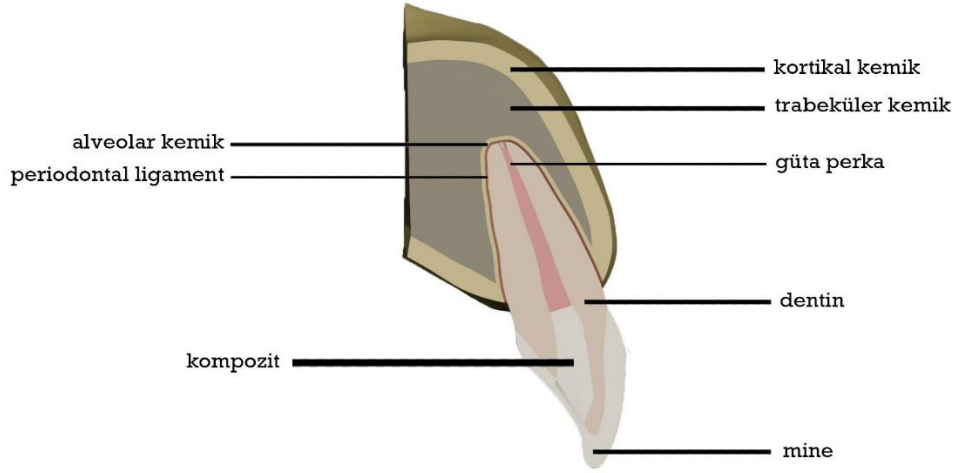
Şekil3.7. Santral dişin ve maksillanın ağ görüntüsü

Model üzerinde diş kökünün bukkal yüzeyinde kökün koronal, orta ve apikal bölgelerinde iki farklı boyutta eksternal kök rezorpsiyonu kavileri oluşturulmuştur. Büyük kavite, tabanı sement yüzeyinde tepe noktası kök kanalında olan bir yarım daire, küçük kavite ise yine tabanı sement yüzeyinde büyük kavitenin yarısı büyüklüğünde bir yarıçapa sahip olacak şekilde oluşturulmuştur. Koronal üçlüde oluşturulan büyük kavitedeki yarım dairenin çapı 4.5 mm, orta üçlüde oluşturulan büyük yarım dairenin çapı 4 mm, apikal üçlüde oluşturulan yarım dairenin çapı ise 2.5 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Küçük kaviteledeki çaplar bu değerlerin yarısı kadardır (Şekil 3.9).



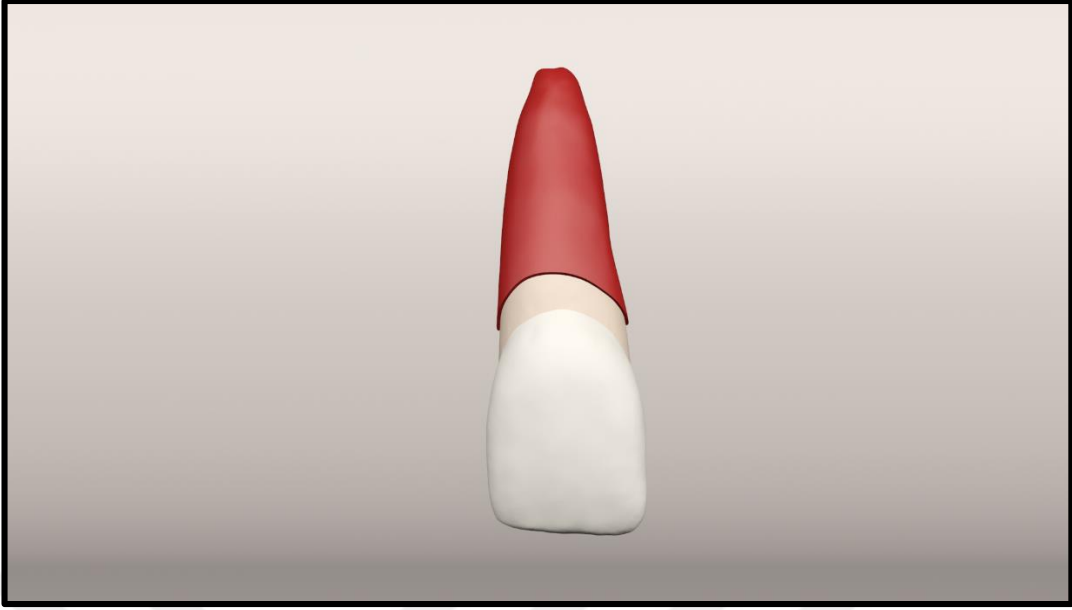
Şekil3.9. Oluşturulan kök rezorpsiyon kaviteilerinin görüntüsü

Maksiller santral dişin destek dokuları kortikal kemik, süngerimsi kemik ve periodontal ligament oluşturulmuştur. Tüm dokuların lineer elastik, homojen ve izotropik olduğu varsayılmıştır. Kök kanalları güta perka ile doldurulmuş ve giriş kaviteleri kompozit dolgu materyali ile kapatılmıştır. Sonrasında oluşturulan model üzerindeki kaviteler bilgisayar ortamında farklı restorasyon materyalleri Biodentin, mineral trioksit agregat (MTA) ve cam iyonomer siman(CİS) ile restore edilmiştir (şekil 3.8).



şekil3.8. Modellenmiş maksilla ve kanal tedavisi yapılmış diş katmanlarının kesit görüntüsü.

Alveolar kemik ve periodontal ligamentin kalınlıkları literatür bilgiler ışığı altında belirlenmiştir.²⁰¹ Katı hale getirilen dentinden ölçeklendirme metoduyla oluşturulmuştur. Periodontal ligament kalınlığı ortalama 0,2 mm, alveolar kemik kalınlığı ise ortalama 0,1 mm olarak belirlenmiştir.²⁰² Periodontal ligament, servikal bölgede mine-dentin sınırının yaklaşık olarak 0,5 mm altından başlatılmıştır (şekil 3.10). Sement tabakası çok ince olduğu ve fiziksel özellikleri dentine benzediği için modellenmemiştir.²⁰³



Şekil3.10.Periodontal ligament

3.5. Üç Boyutlu Modellerin Sonlu Eleman Analizine Aktarılması

Çalışmamızda, uygulanacak olan kuvvete karşı diş dokularının nasıl cevap vereceğini belirleyebilmemiz için diş ve kemik dokularının mekanik özelliklerinden olan young's modülü ve poisson oranının bilinmesi gerekmektedir. Huang ve ark. çalışmasındaki değerler veri olarak sonlu eleman analizi programına aktarılmıştır.²⁰¹

Kanal tedavisi yapılmış olan maksiller santral diş; kanal giriş kavitesine uygulanacak olan restorasyon materyali, kanal dolgusu materyali, rezorpsiyon kavitelere uygulanacak olan tamir materyalleri (MTA, Biodentin, CİS) yüzey modelleme yöntemiyle oluşturulmuştur. Modeldeki yapılar aynı şekilde homojen, izotropik ve elastik olarak varsayılmıştır.

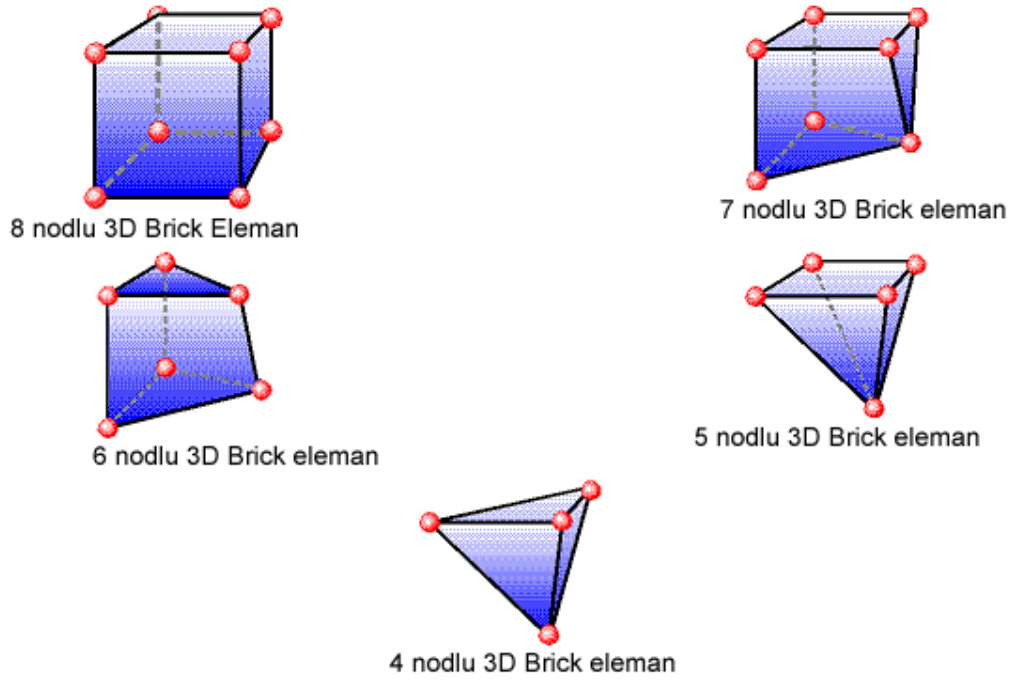
Daha sonra kanal dolum materyali olarak kullanılacak güta perkanın, rezorpsiyon kaviteleri tamir materyalleri MTA, Biodentin ve CİS'in, giriş kavitesi restorasyon materyali olarak ise kompozitin mekanik özellikleri olan young's modülü ve poisson oranları programa aktarılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Diş ve destek dokularının young's modülü ve poisson oranları

Materyaller	Young's Modülü (E;GPa)	Poisson Oranı (μ)	Referanslar
Mine	77.90	0.33	201
Dentin	16.6	0.31	201
Periodontal ligament	0.05	0.45	201
Alveolar kemik	3.50	0.33	201
Trabeküler kemik	0.50	0.38	201
Kortikal kemik	10.00	0.33	201
Cam iyonomer siman(CİS)	10.8	0.3	204
Kompozit rezin(K	18.600	0.26	205
MTA Angelus	20	0.314	206
Biodentin(Septodent)	22	0.30	206
Güta perka	0.14	0.45	206

3.6. Dügüm ve Eleman Sayıları

Modeller meşleme işleminde Bricks ve Tetrahedra elemanlar şeklinde katı modele çevrilmiştir. Bricks ve Tetrahedra katı modelleme sisteminde, Fempro modelde oluşturabildiği kadar 8 nodlu elemanlar kullanır. 8 nodlu elemanların gerekli detaya ulaşamadığı durumlarda 7 nodlu, 6 nodlu, 5 nodlu ve 4 nodlu elemanlar kullanılır (Şekil 3.11).



Şekil3.11. Sonlu eleman analizinde kullanılan farklı sayıda nodlu elemanlar

Çalışmanın gerçekçi sonuçlar vermesi için programın el verdiği ölçüde, seçtiğimiz çene kemiğinin modelinin boyutlarını göz önüne alarak mümkün olduğunca fazla eleman sayısı seçilmiştir. Bu çalışmada ana modelin oluşturulmasında 112301 düğüm, 551952 eleman kullanılmıştır. Koronal üçlü seviyesinde oluşturulan küçük kavitede 116539 düğüm, 567280 eleman, büyük kavitede 124055 düğüm, 590464 eleman, orta üçlü seviyesinde oluşturulan küçük kavitede 115803 düğüm, 568525 eleman, büyük kavitede 112917 düğüm, 582453 eleman ve apikal üçlü seviyesinde oluşturulan küçük kavitede 115545 düğüm, 563489 eleman, büyük kavitede ise 121408 düğüm, 581272 eleman kullanılmıştır.

Diş modellerinde yer alan yapı ve malzemelerin monoblok oluşturan yapılar olması ve malzeme ve yapıların hareket etmemesi nedeniyle farklı doku/malzemeler arasında “bağlı” arayüz modelleme tipi tercih edilmiştir.

Modeller lokalizasyonlarına ve kullanılan restorasyon materyaline göre aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır:

Model 1: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş küçük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 2: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş büyük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 3: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş küçük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 4: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş büyük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 5: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş küçük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 6: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş büyük kök rezorpsiyon kavitesi (restorasyon yok)

Model 7: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 8: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

Model 9: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

Model 10: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 11: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

Model 12: Kökün koronal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

Model 13: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 14: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

Model 15: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

Model 16: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 17: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

Model 18: Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

Model 19: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 20: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

Model 21: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve küçük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

Model 22: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi MTA ile tamir edilmiştir.

Model 23: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Biodentin ile tamir edilmiştir.

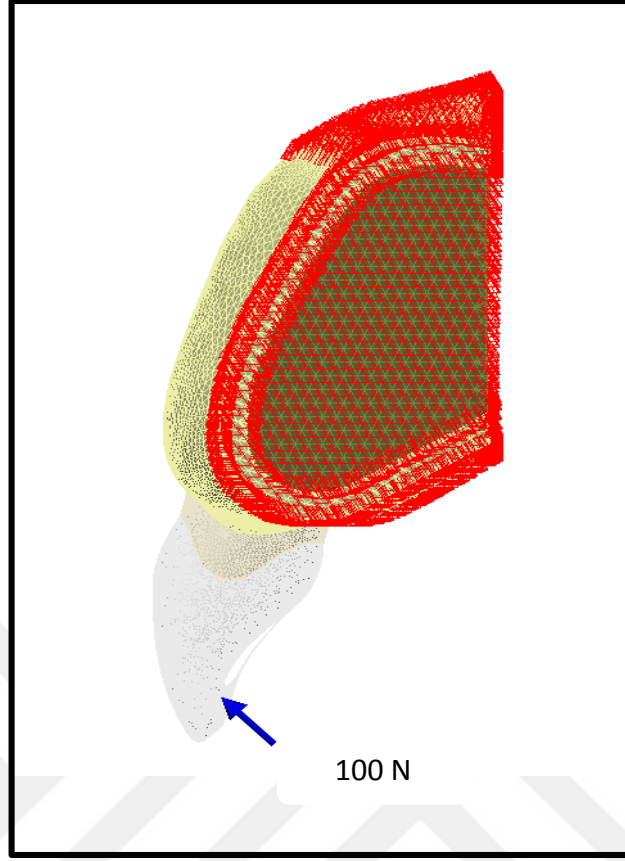
Model 24: Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulmuş ve büyük kök rezorpsiyon kavitesi Cam İyonomer Siman (CİS) ile tamir edilmiştir.

3.7. Yükleme Koşulu

Model çene kemiğinin alt ve arka kısmından her DOF (Degree of freedom)'da 0 harekete sahip olacak şekilde sabitlenmiştir.

Üst santral dişin bukkal bölgesine çigneme kuvvetlerini taklit etmek amacı ile okluzal düzleme 45 ° açıyla 100 N luk oblik kuvvet simüle edilmiştir.²⁰⁷

Algor Fempro (ALGOR, Inc. 150 Beta Drive Pittsburgh, PA 15238-2932 USA) yazılımı kullanılarak rezorpsiyon bölgelerine komşu diş bölgelerindeki dentin dokusunda ve tamir materyalleri üzerinde von Mises stres değerlendirmeleri yapılmıştır. Tüm diş yapısı ve rezorpsiyon alanlarındaki en yüksek eşdeğer gerilmeler (MPa) kaydedilmiştir. Toplamda 24 analiz gerçekleştirilmiştir.



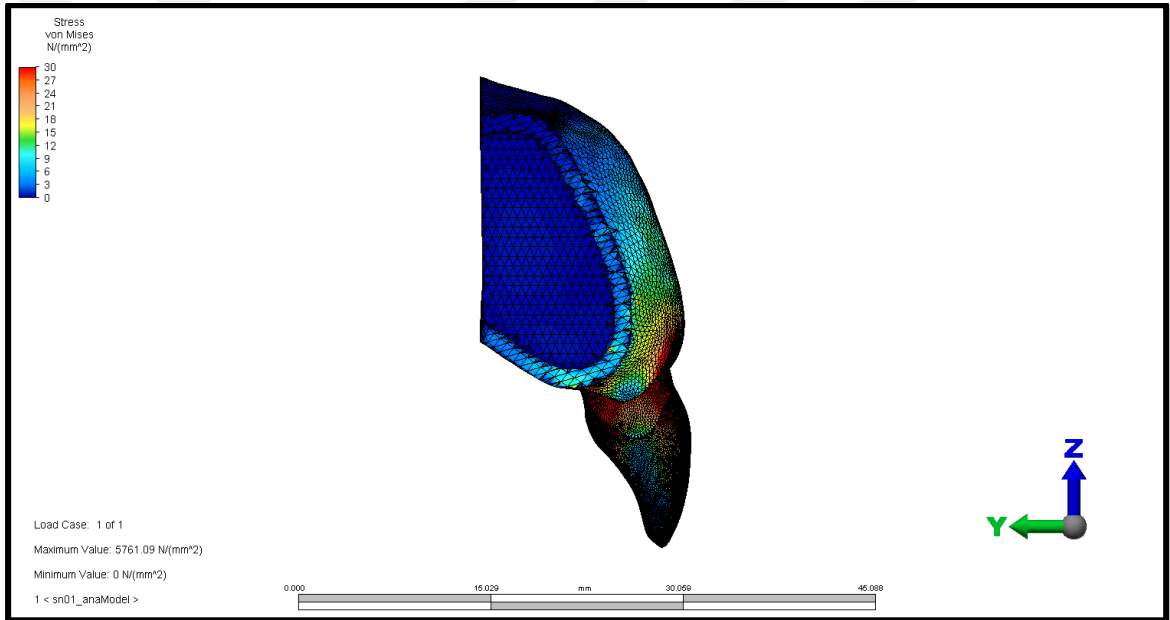
Şekil3.12.Yükleme koşulu

3.8. Modellerin Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sonlu eleman analizi sonucunda elde edilen değerler, matematiksel hesaplamalar sonucu ortaya çıktığından istatistiksel analizler yapılamamaktadır. Tüm stres değerleri, renk ve miktar skalaları ile gösterilmiştir. Burada önemli olan, kesit görüntülerinin ve düğümlerdeki stres miktarının ve dağılımlarının hassas bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanmasıdır. Sonlu eleman stres analizleri sonunda Fempro bilgisayar programı, oluşan 25 farklı stresin değerini verebilmektedir. Önemli olan hangi stres değerinin değerlendirileceği ve elde edilen stres değerlerinin hangi kriterler ile karşılaştırılacağına bilinmesidir.

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında simüle edilen farklı diş modellerine uygulanan kuvvet ile, diş ve destek dokularında en yüksek stres ve deformasyonun olduğu bölgeler ile miktarları değerlendirilmiştir. Stres dağılımı ve stres değerleri, von Mises stres kriterlerine göre değerlendirmeye alınmıştır. Şekillerde görülen kırmızıdan maviye doğru olan renkler, azalan stres ve deformasyon değerlerini göstermektedir. Elde edilen matematiksel değerler MPa cinsinden verilmiştir. Tüm kuvvetler altında kuvvetin uygulandığı alanda stres birikiminin fazla olması beklenen bir sonuçtur. Kuvvetin uygulandığı alan dışında ise en fazla stres birikimi dişin bukkal ve palatinal kole bölgesinde yoğunlaşmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Dişin tamamında oluşan en yüksek stres bölgeleri

Rezorpsiyon kavitesi bulunmayan diş, rezorpsiyon kavitesi oluşturulmuş ama tamir edilmemiş diş ve rezorpsiyon kavitesi oluşturulup MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş diş modellerinin dişin tamamında oluşan maksimum von Mises stres değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Bu değerlere bakıldığında oluşturulan rezorpsiyon kavitelerinin dişin tamamındaki stres birikimi üzerinde bir etkisi olmadığı görülmektedir.

Tablo 4.1: Dişin tamamındaki maksimum von Mises stres değerleri (MPa)

Kaviteler	Materyal	Dişin tamamındaki maksimum von Mises stres değerleri
Kavitesiz diş		5761.09
Apikal büyük	boş	5761.14
	mta	5761.14
	biodentin	5761.14
	cis	5761.14
Apikal küçük	boş	5761.15
	mta	5761.15
	biodentin	5761.15
	cis	5761.15
Orta büyük	boş	5761.23
	mta	5761.20
	biodentin	5761.20
	cis	5761.20
Orta küçük	boş	5761.15
	mta	5761.15
	biodentin	5761.15
	cis	5761.15
Koronal büyük	boş	5761.25
	mta	5761.21
	biodentin	5761.21
	cis	5761.22
Koronal küçük	boş	5761.13
	mta	5761.13
	biodentin	5761.13
	cis	5761.13

4.1. Kökün Koronal Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri

Yaptığımız bu çalışmada F kuvveti tüm diş kavitelere 100 N luk kuvvet halinde uygulanmıştır. Dişin apikalinde, palatinal servikal bölgesinde ve oluşturulan kaviterin orta noktasında, dentinde her seferinde aynı yerden alınan noktasal değerleri ölçülmüştür. Ortaya çıkan stres ve deformasyon bölgeleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Koronal bölgede oluşturulan eksternal rezorpsiyon kaviterinde tamir edilmemiş ve MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş dişte oluşan noktasal stres

ve deformasyon değerleri Tablo 4.2’de gsterilmiştir.

Tablo 4.2: Koronal üçlüdeki SESA modellerinde seçilen noktalardaki von Mises stres değerleri (MPa)

Koronal üçlü bölgesinde oluşturulan eksternal rezorpsiyon kavitelere kuvvet uygulandığında tamir edilmiş ve tamir edilmemiş kavitelere dişin apikal bölgesinde oluşan von Mises stres değerlerine bakıldığında bir değişiklik gürülmemiştir.

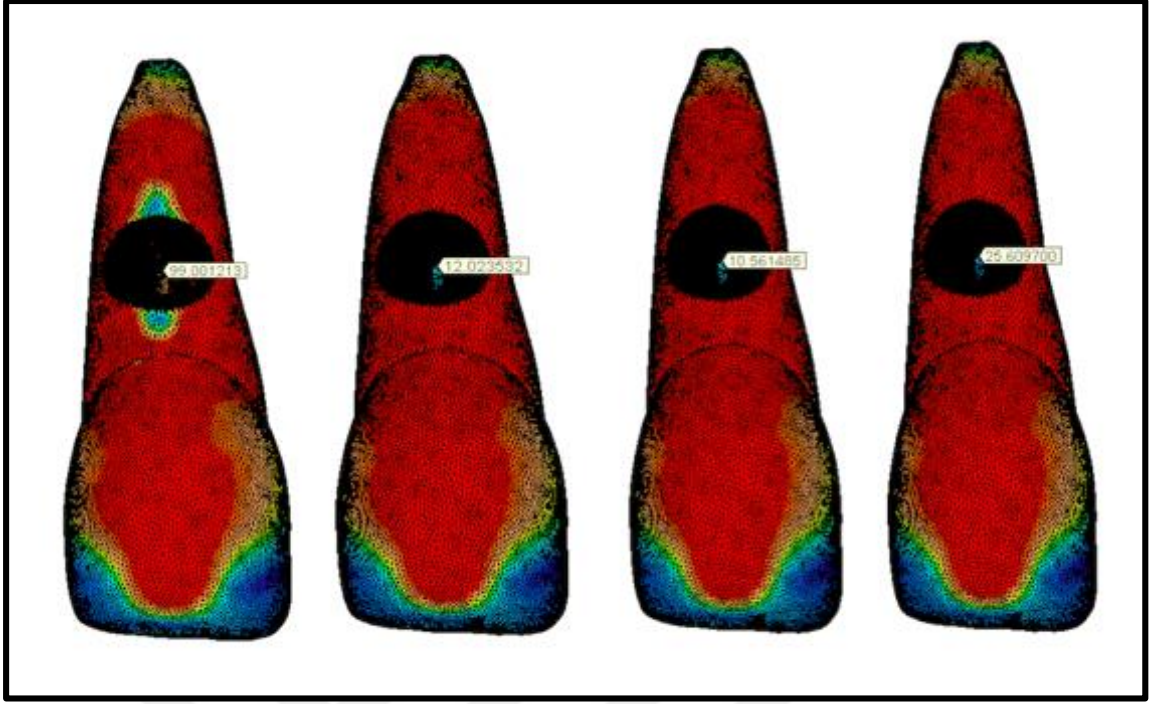
Kaviteler	Materyal	Kavitenin		
		Apikal	tepesi	Palatinal
Koronal büyük	Boş	9.15	99.00	142.86
	MTA	10.70	12.02	111.51
	Biodentin	10.74	10.56	110.84
	CİS	10.45	25.60	116.58
Koronal küçük	Boş	9.24	89.64	108.91
	MTA	9.40	43.18	105.63
	Biodentin	9.41	41.78	105.46
	CİS	9.36	50.67	106.46

Dişin palatinal servikal bölgesinde tamir edilmemiş kavitelere stres birikimi fazlayken MTA, Biodentin ve CİS ile tamir sonrasında dişin palatinal servikal bölgesinde daha az stres birikimi gürzenmiştir.

Rezorpsiyon kavitenin tepe noktasından elde edilen değerlere bakıldığında hem büyük hem de küçük kavitede dentindeki stres birikiminin azaldığı gürülmektedir. Burada dentindeki stres birikiminin en fazla azaldığı tamir materyali Biodentin olarak bulunmuştur. MTA ise Biodentine yakın von Mises değerleri gstermiştir. CİS, Biodentin ve MTA’a göre dentin üzerinde biriken stresi daha az oranda dūřürmüřtür.

Oluşturulan büyük kavite ile küçük kavitedeki stres birikimleri karşılaştırıldığında kavitenin ortasında ve palatinal servikal bölgede büyük kavitede biriken stresin daha fazla olduğu gürülmüştür.

Resimde de gürülen kırmızıdan maviye doğru olan renkler, azalan stres ve deformasyon değerlerini gstermektedir (şekil 4.2.)



Şekil 4.2. Kökün koronal üçlüsünde oluşturulmuş ve sırasıyla tamir edilmemiş, MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş büyük kavitede dentindeki stres değerleri

4.2. Kökün Orta Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri

Kökün orta üçlü seviyesinde oluşturulan eksternal kök rezorpsiyon kaviterinde tamir edilmemiş ve MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş dişte oluşan stres ve deformasyon değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Orta üçlüde SESA modellerinde seçilen noktalardaki von Mises stres değerleri (MPa)

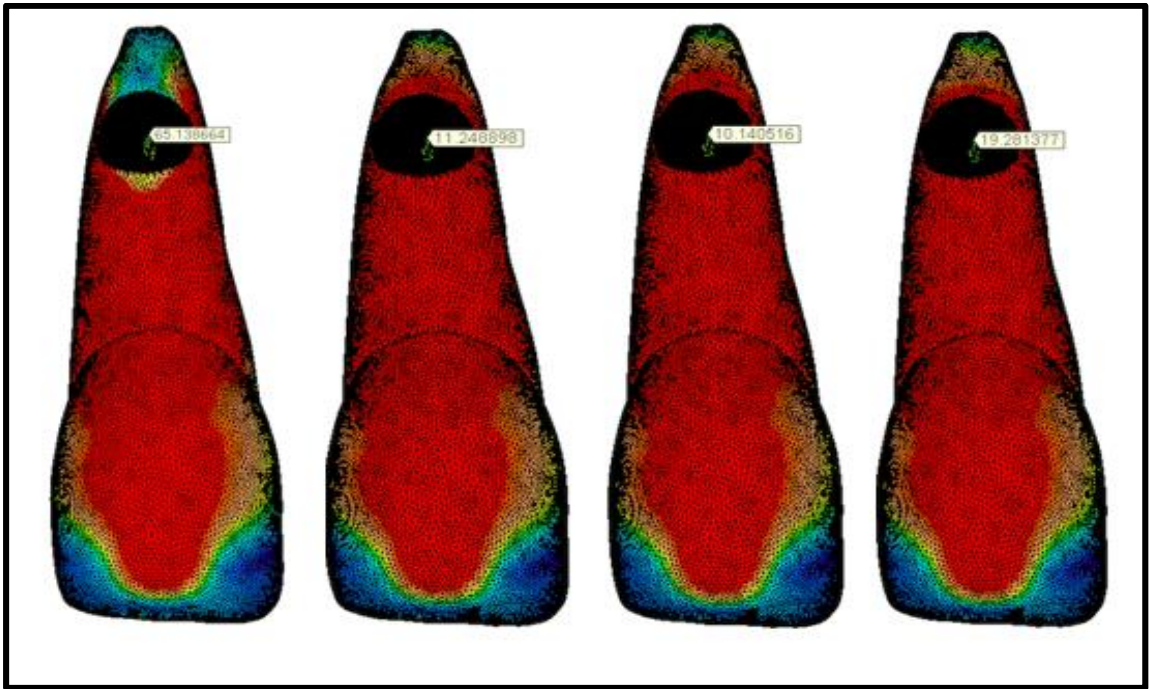
Kaviterler	Materyal	Apikal	Kavitenin tepesi	Palatinal
Orta büyük	Boş	6.50	65.13	111.10
	MTA	9.58	11.24	111.12
	Biodentin	9.66	10.14	111.12
	CİS	8.99	19.28	111.11
Orta küçük	Boş	9.82	32.12	103.00
	MTA	9.82	33.00	102.28
	Biodentin	9.84	32.47	103.00
	CİS	9.71	36.00	102.99

Orta üçlü seviyesinde oluşturulan eksternal rezorpsiyon kavitelerine kuvvet uygulandığında tamir edilmiş ve tamir edilmemiş kavitelere dişin apikal bölgesinde oluşan von Mises stres değerlerine bakıldığında küçük kavite için anlamlı bir fark görülmemiştir fakat büyük kavitede tamir edilmemiş haline göre tamir edildiği durumlarda apikal bölgede stres birikimi artmıştır.

Orta üçlü seviyesinde oluşturulan her iki kavite içinde tamir edilmemiş ve tamir edilmiş modellerinde dişin palatinal servikal bölgesinde von Mises stres değerlerinde bir değişiklik gözlenmemiştir.

Büyük kavitenin tepe bölgesinde tamir edilmemiş haline göre Biodentin, MTA ve CİS ile tamir edildiği durumlarda stres birikimi azalmıştır. Yine koronal bölgedeki kavitelere olduğu gibi Biodentin dentindeki stres birikimini en fazla azaltan materyaldir. MTA, Biodentine yakın von Mises değerleri vermiştir. Rezorpsiyon kavitesi CİS ile onarıldığında ise dentinin üzerinde biriken stres diğer materyallere göre daha fazla bulunmuştur (Şekil 4.3).

Küçük kavitenin tepe noktasındaki stres değerlerine bakıldığında MTA ve Biodentin ile tamir edilmiş hali ile tamir edilmemiş hali arasında bir fark yoktur. CİS ile tamir edildiğinde ise dentindeki stres birikimi artmış olarak bulunmuştur.



Şekil 4.3. Kökün orta üçlüsünde oluşturulmuş ve sırasıyla tamir edilmemiş, MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş büyük kavitede dentindeki stres değerleri

4.3. Kökün Apikal Üçlü Seviyesinde Oluşturulmuş Kavitelere Oluşan Stres Ve Deformasyon Bölgeleri

Kökün apikal üçlü seviyesinde oluşturulan eksternal rezorpsiyon kavitelere tamir edilmemiş ve MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş dişte oluşan stres ve deformasyon değerleri Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Apikal üçlüdeki SESA modellerinde seçilen noktalardaki von Mises stres değerleri (MPa)

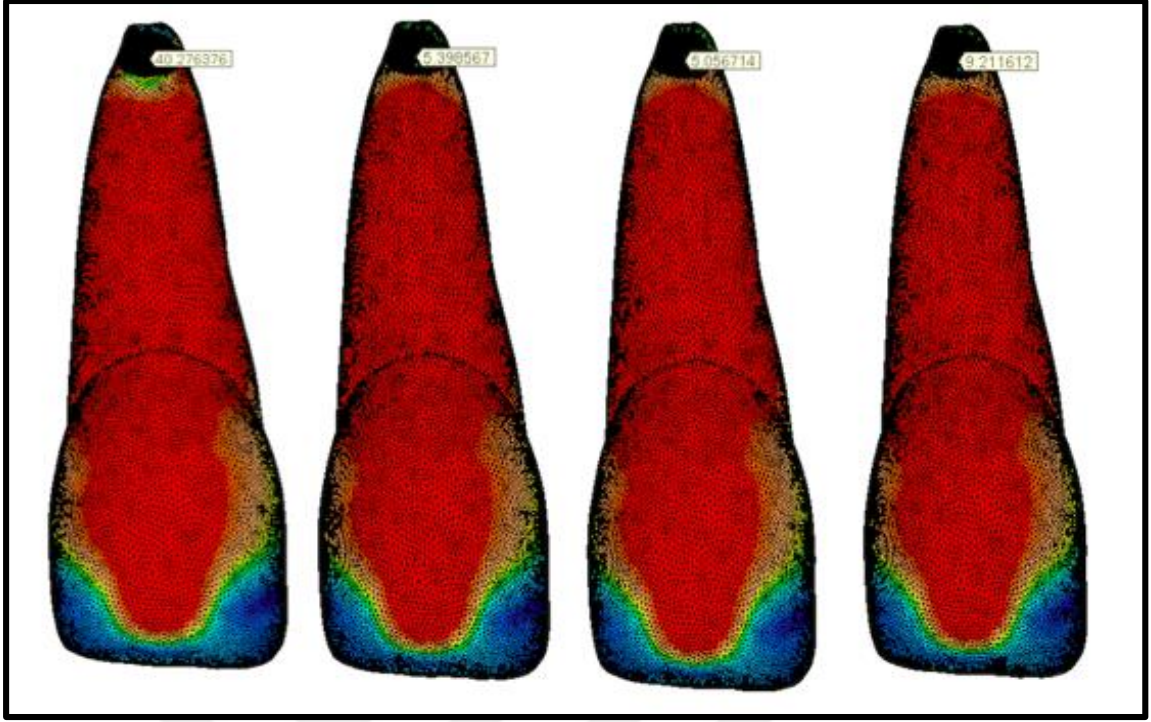
Kavite	Materyal	Apikal	Kavitenin tepesi	Palatinal
Apikal büyük	Boş	9.78	40.27	119.13
	MTA	11.73	5.39	103.20
	Biodentin	11.87	5.05	119.14
	CİS	10.73	9.21	119.14
Apikal küçük	Boş	8.78	16.39	116.36
	MTA	9.68	15.54	116.36
	Biodentin	9.72	15.64	116.36
	CİS	9.41	14.74	116.36

Apikal üçlü seviyesinde oluşturulan eksternal rezorpsiyon kavitelere kuvvet uygulandığında dişin apikal bölgesinde oluşan von Mises stres değerlerine bakıldığında tamir edilmemiş haline göre tamir edilmiş hallerinde stres birikimi gözlenmiştir.

Apikal üçlü seviyesinde oluşturulan her iki kavite içinde tamir edilmemiş ve tamir edilmiş modellerinde dişin palatinal servikal bölgesinde von Mises stres değerlerinde bir değişiklik gözlenmemiştir.

Apikal üçlüdeki büyük kavitenin tepe noktasında tamir edilmemiş haline göre Biodentin, MTA ve CİS ile tamir edildiği durumlarda stres birikimi azalmıştır. Burada Biodentin ve MTA benzer von Mises değerleri vermiştir ve yine CİS’e göre stres birikiminde daha fazla azalma görülmüştür (Şekil 4.4).

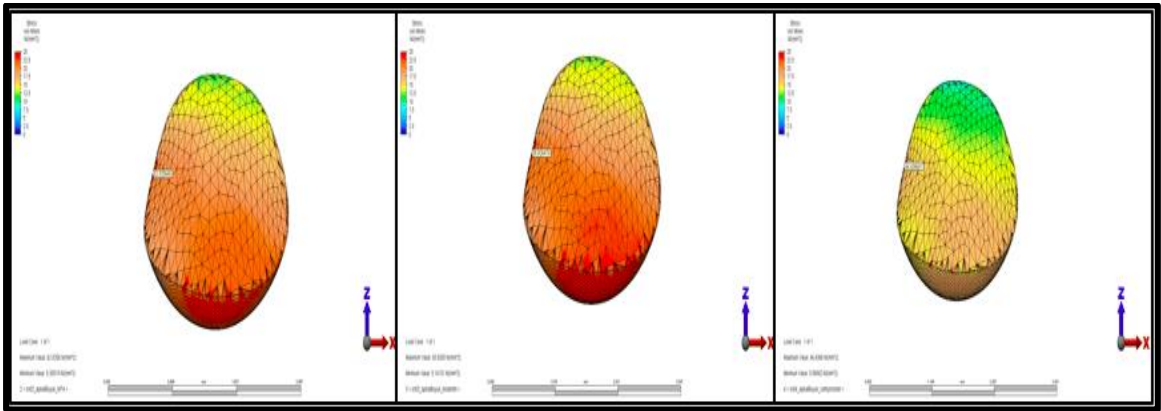
Apikal üçlüde oluşturulan küçük kavitenin orta bölgesinde tüm tamir materyalleri birbirine benzer sonuçlar vermiştir. Büyük kavitede, kavitenin ortasında dentinde ölçülen stres birikimi küçük kaviteye göre daha fazla bulunmuştur.



Şekil 4.4. Kökün apikal üçlüsünde oluşturulmuş ve sırasıyla tamir edilmemiş, MTA, Biodentin ve CİS ile tamir edilmiş büyük kavitede dentindeki stres değerleri

4.4. Tamir Materyallerinde Oluşan En Yüksek Stres Ve Deformasyon Bölgeleri

Çalışmamızda üst maksiller santral diş modelinde apikal, orta ve koronal bölgelerinde oluşturulan rezorpsiyon kaviteleri Biodentin, MTA ve CİS tamir materyalleri ile onarılmıştır. Bu tamir materyallerinde oluşan maksimum von Mises stres değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.5). Ölçülen değerler Tablo 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Apikal büyük kavitedeki tamir materyalleri sırasıyla MTA, Biodentin, CİS maksimum von Mises değerleri (MPa)

Tablo 4.5. SESA modellerinde tamir materyallerindeki maksimum von Mises stres değerleri (MPa)

Kaviteler	Tamir Materyalleri	Maksimum von Mises(MPa)
Apikal büyük	MTA	62.02
	Biodentin	65.82
	CİS	46.43
Apikal kk	MTA	44.05
	Biodentin	46.09
	CİS	34.17
Orta büyük	MTA	100.25
	Biodentin	105.57
	CİS	73.61
Orta kk	MTA	65.15
	Biodentin	69.00
	CİS	45.26
Koronal büyük	MTA	179.18
	Biodentin	189.08
	CİS	149.57
Koronal kk	MTA	198.21
	Biodentin	219.82
	CİS	99.27

Çalışmamızda oluşturulan tüm rezorpsiyon kavitelelerinde tamir materyali olarak kullanılan Biodentinde en fazla stres birikimi grlmştr. MTA ise Biodentine yakın von Mises değerleri göstermiştir. CİS’de ise en az stres birikimi belirlenmiştir. Biodentinde stres birikiminin daha fazla olması sonucunda gelen stresi daha iyi absorbe etmiş ve dentine stresi daha az iletmiştir ve bu sonuçlar dentinde ölçülen von Mises stres değerleri ile uyumlu bulunmuştur.

5.TARTIŞMA

Dış kök rezorpsiyonları diş hekimliğinde multidisipliner bir problemdir. Bununla birlikte dış kök rezorpsiyonu klinikte en çok görülen kök rezorpsiyonudur ve spesifik bir tedavisi yoktur. Eksternal kök rezorpsiyonunun tedavi planlaması lezyonun lokalizasyonuna, büyüklüğüne ve dişin vitalitesine bakılarak yapılır. Literatür incelendiğinde, kökün farklı seviyelerinde ve farklı büyüklükte eksternal kök rezorpsiyonu kavitelelerinin restorasyon tekniklerinin kök dentinindeki stres birikimi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma, günümüzde geliştirilen bilgisayar programları ve görüntüleme sistemleri sayesinde dış kök rezorpsiyonu bulunan dişlere gelen fonksiyonel kuvvetin dişin hangi bölgesinde, ne kadar miktarda stres ve deformasyon oluşturabileceği, oluşan bu stres birikimlerinin, kullanılan tamir materyalinin farklılığına göre değişip değişmeyeceği gibi problemlerin çözülebileceği düşünüülerek planlanmış ve sonlu eleman analiz yönteminden yararlanılmıştır.

Dış kök rezorpsiyonları, restorasyon tedavisinin zorluğu ve bazı olgularda defektin bir kısmına erişilememesinden dolayı diş hekimlerini zorlayan durumlardan biridir. Dış kök rezorpsiyonu lezyonlarının sınırları mine, dentin veya sement yüzeyinde bulunmakta olup subgingival bir konuma sahiptir. Bu nedenle sürekli ağız sıvılarıyla temas halinde olan rezorpsiyon defektlerinin çoğunlukla tedavi esnasında da kan ve nemden uygun şekilde izolasyonu sağlanamamaktadır.¹²⁶ Dolayısıyla, materyalin iyi bir sızdırmazlık sağlaması, doğrudan çevre doku ile temas etmesinden dolayı toksik maddeler içermemesi, onarımı teşvik etmesi veya biyolojik olarak nötr olması, doku sıvılarının varlığında çözünmemesi ve periradiküler dokuların rejenerasyonunu desteklemesi rezorpsiyon tedavisinde kullanılan tamir materyallerinden beklenen özelliklerdir. Ayrıca rezorpsiyonun ilerlediği olgularda dişlerin kırılma direncinin azalmasından dolayı tedavide kullanılan materyalin diş yapısını güçlendirmesi de beklenmektedir.¹²⁸

Bu çalışmada maksiller santral diş modelinin farklı kök seviyelerinde ve farklı büyüklüklerde oluşturulan eksternal kök rezorpsiyonlarını farklı tamir materyalleri ile restore edildikten sonra dişin hangi bölgesinde ve ne kadar stres birikimi oluşturacağını araştırılması hedeflenmiştir. Bunun için in vivo olarak incelenmesi mümkün olmayan anatomik bölgelerin araştırılmasına izin veren üç boyutlu sonlu eleman analizi kullanılmıştır.¹⁸⁷

Sonlu eleman stres analizi yöntemi ile yapılan bir çalışmada dentine benzer elastiklik modülü olan malzemelerin kökleri güçlendirebileceği bildirilmiştir. Cam iyonomer simanın elastik modülü yaklaşık 10,8 GPa, MTA'nın elastiklik modülü 20 GPa²⁰⁸, Biodentine'nin ise 22 GPa'dır.²⁰⁹ Dentinin elastiklik modülünün 18,6 GPa olduğu göz önünde bulundurulduğunda trikalsiyum silikat esaslı malzemelerin dişlerin kırılma direncine olumlu yönde etkisinin dentin ile benzer elastiklik modülüne sahip olmalarından kaynaklandığı söylenebilir.²¹⁰ Bir materyalin dayanıklılığı (strength) tipik olarak materyalin iç yapısında kalıcı bir değişim veya kırılma oluşumu için gereken stres miktarı sınırı olarak kabul edilmektedir. Diş hekimliğinde oklüzal yüklere maruz kalan malzemelerin dayanıklılığı klinik uygulamalarda önem kazanmaktadır.²¹¹ Endodontide kullanılan simanların fiziksel özellikleri değerlendirilirken materyallerin bükülme dayanımı, basma dayanımı ve itme bağlanma dayanımı öne çıkmaktadır. Diş kök rezorpsiyonu bulunan dişlerin farklı tamir materyalleri ile restorasyonu sonrası stres birikimi ile ilgili çalışmaların kısıtlı olmasından dolayı çalışmamızda kullandığımız materyallerin yukarıda bahsedilen fiziksel özelliklerine ait literatür bilgileri ile çalışmamız bulguları arasında bir ilişki kurulması hedeflenmiştir.

Dişlerde meydana gelen kırıklar ilerleyen dönemde önemli klinik problemlere yol açmaktadır. Diş çürükleri ve periodontal hastalıklardan sonra diş kaybının en yaygın üçüncü nedeninin dişte meydana gelen kırıklar olduğu bildirilmektedir.²¹² Normal fonksiyonel gerilmeler, yetersiz mekanik özellikler, eksik kök oluşumu, doku kaybı (dişte çürük veya aşınma, iç ve dış rezorpsiyonlar, endodontik tedavi) ve yaşlanmadan dolayı diş yapısındaki değişiklikler kron ve/veya kökte kırıklara neden olabilmektedir.^{213,214} İlerlemiş diş kök rezorpsiyonu bulunan dişlerde görülen madde kaybına bağlı olarak dişlerin kırılma direncinde bir azalma beklenmektedir.^{212,213} Endodontik olarak tedavi edilmiş dişlerin kırılma direnci ile ilgili birçok in vitro çalışma bulunmaktadır.²¹⁵⁻²¹⁷ Bu in vitro çalışmalardaki temel amaç, dişte kırık oluşana kadar dişe kuvvet uygulamak ve kırığın oluştuğu kuvvet miktarlarını kaydetmektir. Tez çalışmamızda kullanmış olduğumuz sonlu eleman analizi yönteminin bu in vitro çalışmalara göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu yöntemde birçok değişken değerlendirilebilir, insan dokusuna gerek duyulmaması ve standardizasyonun azami düzeyde sağlanması önemli avantajlarındandır. Bu analiz, stres ve yer değiştirme noktalarının görselleştirilmesine ve bunların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.¹⁸⁷

Sonlu eleman analizlerinin sonuçları genellikle incelenen yapılarda gerilme dağılımı olarak ifade edilir; bununla birlikte, von Mises stresi, tüm stres alanına bağlıdır ve hasarın meydana gelme olasılığının yaygın olarak kullanılan bir göstergesidir. Bu nedenle sonuçlar von Mises kriterleri dikkate alınarak sunulmuştur.²¹⁸

Sonlu eleman analizi ile değerlendirilen diş dokuları modellenirken periodontal ligament ve kemiğin de modellenmesi tavsiye edilmektedir.²¹⁹ Bu çalışmada tasarlanan model, periodontal ligament, kortikal kemik ve trabeküler kemik tabakalarını içermektedir. Bununla birlikte analiz için hazırlanan modellerin eleman ve düğüm sayıları önemlidir. Düğüm ve eleman sayıları, yapılan analizin hassasiyetini belirler. Eleman sayısı arttıkça gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir.²²⁰ Bu çalışmada analiz için kullanılan ana modelde bulunan eleman sayısı 551952, düğüm sayısı 112301 olarak elde edilmiştir.

Dış kök rezorpsiyonunun en fazla görüldüğü dişlerin üst santral dişler olmasından dolayı üst santral kesici diş modellenmiştir.⁵ Sonlu elemanlar analizinde modeller üzerine uygulanan statik ve dinamik kuvvetler 100 N ile 2000 N arasında değişmektedir. Helkimo ve arkadaşları, çiğneme sırasında kesiciler bölgesinde kuvvet miktarının 100-200 N arasında değiştiğini belirtmişlerdir.²²¹ Adıgüzel ve arkadaşları yaptıkları üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi çalışmalarında uygulanan kuvvetin büyüklüğü 100 N olarak uygulamışlardır.²⁰⁵ Poiate ve ark yaptıkları bir çalışmada 100 N'luk kuvvet miktarını; çiğneme kuvveti olarak 500 N'luk kuvvet miktarını; parafonksiyonel kuvvet miktarı olarak, 800 N'luk kuvvet miktarını ise travmatik kuvvet olarak nitelendirmişlerdir.²⁰⁷ Bizim çalışmamızda da fonksiyonel hareketi taklit etmek için 100 N'luk kuvvet uygulanmıştır.

Bu çalışmanın literatürdeki birçok sonlu eleman analizi çalışmasına kıyasla uygun bir yönü ise, test edilen modellerin gerçek bir dişin doğru anatomik yapısını yansıtmak için Mikro BT taraması ile elde edilmiş olmasıdır. Mikro BT, incelenen dişlere zarar vermeyen ve diş dokularının yüksek çözünürlükte 3 boyutlu görüntülerinin elde edildiği bir ileri görüntüleme tekniğidir.²²² Mikro BT haricindeki SEM, konvansiyonel radyograflar, görüntü analiz programları gibi değerlendirme yöntemlerinin iki boyutlu görüntülerin analizine dayanması ve 3 boyutlu detaylı değerlendirmeye imkan vermemesi, incelenecek örneklerin hazırlık aşamalarında örneklerde bozulmaya yol açabilmeleri gibi olumsuz özellikleri mevcuttur.²²³

Rezortif defektlerin restorasyonu için cam iyonomer simanlar, ışıkla sertleşen rezin kompozit, amalgam, mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentin gibi tamir materyalleri önerilmiştir.²²⁴

Cam iyonomer simanın dişe adezyonu hem kimyasal hem de mikromekanik bağlanma ile sağlanmaktadır. Resin bazlı kompozitler gibi diğer kalıcı dolgu malzemeleri ile karşılaştırıldığında cam iyonomer simanlar nemli mine ve dentine yapışabilme özelliğine sahiptir. Mineye bağlanma gücü dentine göre daha yüksektir.¹³⁹ Cam iyonomer simanların biyouyumluluk ve düşük termal genleşme katsayısı gibi klinik avantajlara sahip olması günlük diş hekimliği uygulamalarındaki konumunu desteklemektedir.²²⁵

Toz ve likiti karıştırılarak kullanılan, hidrofilik partiküllerden oluşan MTA, nem varlığında sertleşebilen, radyoaktifitesi olan, antimikrobiyal özellikler gösteren, biyouyumlu ve sızdırmazlık özelliği yüksek bir materyaldir.²²⁶ Biodentin son zamanlarda ticari olarak satışa sunulan, dentine çok yakın özellikleriyle dentin yerini alan madde olarak tanımlanan biyoaktif kalsiyum silikat içerikli bir materyaldir.²²⁷ Biyolojik olarak aktif olan Biodentin, dentin tübüllerine girerek mikromekanik kilitlenme yaparak bağlantı sağlamaktadır. MTA'dan fiziksel olarak geliştirilmiş üstün fiziksel özelliklere ve daha iyi kıvama sahip olmasıyla üstün olduğu ileri sürülmüştür.²²⁸

Türker ve ark. çekilmiş alt küçük azı dişlerin kök kanallarında iç kök rezorpsiyonu kavileri oluşturmuş ve ardından rezorpsiyon kavileri de dahil olmak üzere kök kanallarını üç farklı kalsiyum silikat esaslı siman ile doldurarak dişlerin kırılma direncini araştırmışlardır. Çalışma bulgularına göre Biodentine ile restore edilen dişlerin MTA ve MTA Plus ile karşılaştırıldığında dişlerin kırılma direncinin istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek olduğu belirtilmiştir.²²⁹

Bu literatürler ışında bizim çalışmamızda, klinik şartlarda elde edebileceğimiz ve en sık kullanılan tamir materyalleri olan cam iyonomer siman, mineral trioksit agregat (MTA) ve Biodentin tercih edilmiştir.

Literatür incelendiğinde dış kök rezorpsiyonu bulunan dişlerin dentininde stres birikimi ve dağılımlarını araştıran bir çalışma henüz bulunmamaktadır. Bu sebeple Biodentin, MTA ve cam iyonomer simanın endodontinin farklı alanlarında kullanıldığı durumlarda bu simanların dişlerin kırılma direncine olan etkisini değerlendiren araştırma sonuçları referans alınarak çalışmamız bulguları karşılaştırılmıştır.

El-Ma'aite ve ark. 2014 yılında yapmış olduğu bir çalışmada kök kanallarını

MTA ile doldurdukları dişlerde MTA'nın kök dentinine üstün bağlanma özellikleri nedeniyle kırılma direncinin arttığını ileri sürmüştür.²³⁰ Kalsiyum silikat esaslı materyaller kök kanal dentinine kimyasal olarak bağlanmaktadır. Bu simanlarla restore edilmiş dişlerin kırılma direncinin daha yüksek bulunmasının bir sebebi bu materyallerle dentin arasında hidroksiapatit benzeri bir tabakanın gelişmesidir. Ayrıca Biodentine diğer kalsiyum silikat esaslı simanlarla karşılaştırıldığında daha üstün bağlanma özelliğine sahiptir. Biodentine'nin MTA ile karşılaştırıldığında daha fazla miktarda kalsiyum ve silikon iyonu salınımına neden olması ve dentin-sement ara yüzü boyunca 'mineral infiltrasyon bölgesi' diye adlandırılan bir tabakayı oluşturmasının Biodentine'e üstün bağlanma özelliği sağladığı bildirilmiştir.²³¹ Çalışmamızda da bu bulgulara benzer şekilde Biodentine ile restore edilmiş dişlerdeki stres birikimi MTA ile restore edilen dişlerden daha az bulunmuştur.

Cam iyonomer simanların yapısında bulunan poliasit bileşen nedeniyle 'self etch' asitleme özelliğine sahip olmasının mikromekanik bağlanmaya katkıda bulunduğu düşünülmektedir. Cam iyonomer simanlar hidroksiapatitler ile kimyasal olarak bağlanmaktadır ve bu bağlanma poliasit moleküller üzerindeki karboksil grupları ile diş yüzeyindeki kalsiyum iyonları arasında oluşan iyon bağları vasıtasıyla oluşmaktadır.^{140,232} Atmeh ve ark. dentin ve cam iyonomer siman arasında sıkı bir bağlantı olduğunu fakat bu bağlantının kalsiyum silikat materyallerinde olduğu gibi dentin tübüllerine uzanan hibrit benzeri uzantılardan ziyade poliakrilik veya tartarik asitler ve bunların tuzlarının dentine penetrasyonu şeklinde karakterize olduğunu belirtmektedir.²³³ Bu bilgilerden yola çıkarak kalsiyum silikat esaslı materyaller ile karşılaştırıldığında cam iyonomer simanların dentine daha zayıf bağlanması ve çalışmamızda cam iyonomer siman ile tamir edilen modellerde dentinde gözlenen yüksek stres birikimi arasında bir ilişki olabileceği düşünülebilir.

Aslan ve ark. internal kök rezorpsiyonu olan dişlerde kök kanallarının doldurulması için kullanılan MTA ve güta perkanın dişlerde stres dağılımını ne ölçüde etkilediğini belirlemek için bir sonlu eleman analizi çalışması planlamışlardır. Yapılan bu çalışma MTA kullanımının, rezorpsiyon bölgelerinde stres konsantrasyonu riskini azalttığı, güta perka kullanılarak yapılan kök kanalı dolgularının ise stresi dentin dokusuna aktardığı için kırık riskini arttırdığını göstermişlerdir. Yine bu çalışmanın bulgularına göre hem MTA hem de MTA ve güta perka kombinasyonunun, internal kök

rezorpsiyonu olan dişlerde kanalların doldurulması için klinik pratiğinde kullanılması önerilmiştir.²³⁴ MTA'nın bu olumlu sonucu bizim çalışmamızla uyumludur.

Aslan ve ark. başka bir sonlu eleman analizi çalışmalarında mandibular molar dişlerdeki çeşitli iyatrojenik kök perforasyonlarının Biodentin ve MTA ile onarımı sonrası stres dağılımlarını değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmanın sonuçları, Biodentin modellerinin MTA modellerinden daha düşük maksimum von Mises gerilim değerleri gösterdiğini ve strip perforasyonların kök perforasyon bölgelerinde furkasyon perforasyonu ve post boşluğu oluşturulması esnasında oluşan perforasyonlara göre daha yüksek strese maruz kaldığını göstermiştir. Ayrıca bu çalışmada MTA ve Biodentin kullanımının, kök perforasyon bölgelerinde potansiyel olarak zararlı stres riskini azaltabileceğini de gösterilmiştir.²³⁵

Girish ve ark. MTA ve Biodentin kullanarak kök ucunu rezeke ettikleri alt küçük azı dişlerin kırılma direncini *ex vivo* olarak değerlendirdikleri çalışmalarında bir grup dişin kök kanalını güta perka ile doldurup kök ucu dolgu malzemesi olarak MTA veya Biodentin kullanmışlardır. Diğer grupta ise kök kanallarını tümüyle MTA veya Biodentin ile doldürmüşlardır. Çalışma sonuçlarına göre kanallarının tamamı kalsiyum silikat materyalleri ile doldurulan dişlerin daha yüksek kırılma direncine sahip olduğunu ve MTA ile Biodentin arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farkın bulunmadığını öne sürmüşlerdir.²³⁶ Çalışmamızda Biodentin ve MTA, cam iyonomer simana göre dentinde daha az stres birikimine sebep olmuştur. Bütün analizlerde dentinde oluşan en az stres birikimi ise Biodentin materyalinde görülmüştür. Çalışmamızın sonuçları, Girish ve ark. ve Aslan ve ark. yaptıkları çalışma sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur.

Çoğu diş materyali ve diş dokusu anizotropik ve homojen olmamasına rağmen tüm materyaller lineer, izotropik ve homojen olarak kabul edilmiştir. Ek olarak, araştırılan yükleme senaryoları, bir hastada fonksiyonel yükleme sırasında meydana gelen karmaşıklıktan yoksundur. Bu, yük uygulamasının ve etkilerinin doğrusal olmamasına neden olmuştur ve bu nedenle bu çalışmanın bir sınırlaması, yalnızca bir yük koşulu test edilmiş olmasıdır.²³⁷

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızda elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur:

- Dış kök rezorpsiyonu, dişlerin kırılma direncini önemli derecede azaltmaktadır.
- Dış kök rezorpsiyonu bulunan dişlerde fonksiyonel kuvvetler sonucunda stres birikimi en fazla dişin bukkal servikal bölgesinde görülmektedir.
- Dış kök rezorpsiyonu bulunan dişlerin dentindeki stres birikimlerinin azalmasında defektin tamiri için kullanılan restoratif materyalin türü önemlidir.
- Rezorpsiyon defektlerinin tamirinde Biodentin ve MTA'nın kullanılması dişlerdeki stres birikimini azaltmaktadır.
- Tamir materyali olarak cam iyonomer siman kullanılmasının rezorpsiyon defektli dişlerde dentindeki stres birikimini Biodentin ve MTA'ya göre daha az azaltmaktadır.
- Kavitelelerin boyutları değerlendirildiğinde her kök seviyesinde büyük kavitede küçük kaviteye göre daha fazla stres birikimi olduğu görülmüştür.
- Dış kök rezorpsiyonu kökün her bölgesinde ortaya çıkabilmektedir. Bizim çalışmamızda kökün sadece bukkal bölgesinde rezorpsiyon kavitesi oluşturulmuştur. Kökün diğer bölgelerinde oluşabilecek rezorpsiyon kavitelelerinin değerlendirildiği çalışmalar yapılabilir.
- Dişler ağız ortamında fonksiyonel kuvvetler dışında parafonksiyonel kuvvetlere de maruz kalabilmektedir. Bu hususlar dikkate alınarak sonuçlarımız daha ileri çalışmalarla desteklenmelidir.

KAYNAKÇA

1. Patel S, Kanagasingam S, Ford TP. External cervical resorption: a review. *Journal of endodontics*. 2009;35(5):616-25.
2. Bhatt N, Holroyd I. Generalized idiopathic root resorption: a case report. *International journal of paediatric dentistry*. 2008;18(2):146-53.
3. Andreasen J. Review of root resorption systems and models. Etiology of root resorption and the homeostatic mechanisms of the periodontal ligament. The biological mechanisms of tooth eruption and root resorption. 1988:9-21.
4. Bakland LK. Root resorption. *Dental Clinics of North America*. 1992;36(2):491-507.
5. Tronstad L. Root resorption etiology, terminology and clinical manifestations. *Dental Traumatology*. 1988;4(6):241-52.
6. Camp JH. Treatment of the avulsed tooth. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1983;107(5):706.
7. Heithersay GS. Clinical, radiologic, and histopathologic features of invasive cervical resorption. *Quintessence International*. 1999;30(1).
8. Olsen JL. Finite Element Analysis of Maxillary Central Incisor Trauma. 2013.
9. Magne P. Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dental materials*. 2007;23(5):539-48.
10. Patel S, Ford TP. Is the resorption external or internal. *Dental Update*. 2007;34(4):218-29.
11. Darcey J, Qualtrough A. Resorption: part 1. Pathology, classification and aetiology. *British dental journal*. 2013;214(9):439-51.
12. Hammarström L, Lindskog S. General morphological aspects of resorption of teeth and alveolar bone. *International endodontic journal*. 1985;18(2):93-108.
13. Al Momani Z, Nixon PJ. Internal and external root resorption: etiology, diagnosis and treatment options. *Dental update*. 2013;40(2):102-12.
14. Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. Tooth resorption. *Quintessence International English Edition*. 1999;30:9-26.
15. Andreasen J. External root resorption: its implication in dental traumatology, paedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *International endodontic journal*. 1985;18(2):109-18.

16. Adaki RV, Adaki SR, Agrwal JM, Nanjannawar LG. External apical root resorption An unusual case report. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2014;13(1).
17. Silva LB, Guimaraes CS, Santos RA. Immunology of root resorption: A literature review. *Indian Journal of Dental Research*. 2008;19(4):340.
18. Fox J. *The History and Treatment of the Diseases of the Teeth and Gums, and the Alveolar Processes, with the Operations which They Respectively Require: To which are Added, Observations on Other Diseases of the Mouth and on the Mode of Fixing Artificial Teeth*: James Swan; 1806.
19. Patel S, Saberi N. External cervical resorption associated with the use of bisphosphonates: a case series. *Journal of endodontics*. 2015;41(5):742-8.
20. Sikri V, Sikri P. Root resorption—an endodontic enigma. *Endodontology*. 1993;5:11-5.
21. Fuss Z, Tsesis I, Lin S. Root resorption—diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dental traumatology*. 2003;19(4):175-82.
22. Lengheden A, Blomlöf L, Lindskog S. Effect of delayed calcium hydroxide treatment on periodontal healing in contaminated replanted teeth. *European Journal of Oral Sciences*. 1991;99(2):147-53.
23. Friedman S, Rotstein I, Libfeld H, Stabholz A, Heling I. Incidence of external root resorption and esthetic results in 58 bleached pulpless teeth. *Dental Traumatology*. 1988;4(1):23-6.
24. Velloso GR, de Freitas MM, Alves ATNN, Silva ARS, Barboza EdSP, Moraschini V. Multiple external cervical root resorptions after home whitening treatment: a case report. *Australian dental journal*. 2017;62(4):528-33.
25. Von Arx T, Schawalder P, Ackermann M, Bosshardt DD. Human and feline invasive cervical resorptions: Presentation of four cases. *Journal of endodontics*. 2009;35(6):904-13.
26. Patel K, Schirru E, Niazi S, Mitchell P, Mannocci F. Multiple apical radiolucencies and external cervical resorption associated with varicella zoster virus: a case report. *Journal of endodontics*. 2016;42(6):978-83.
27. Solomon CS, Notaro PJ, Kellert M. External root resorption fact or fancy. *Journal of endodontics*. 1989;15(5):219-23.

28. Tanaka T, Morioka T, Ayasaka N, Jima T, Kondo T. Endocytosis in odontoclasts and osteoclasts using microperoxidase as a tracer. *Journal of dental research*. 1990;69(3):883-9.
29. Domon T, Osanai M, Yasuda M, Seki E, Takahashi S, Yamamoto T, et al. Mononuclear odontoclast participation in tooth resorption: the distribution of nuclei in human odontoclasts. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 1997;249(4):449-57.
30. Udagawa N, Takahashi N, Akatsu T, Tanaka H, Sasaki T, Nishihara T, et al. Origin of osteoclasts: mature monocytes and macrophages are capable of differentiating into osteoclasts under a suitable microenvironment prepared by bone marrow-derived stromal cells. *Proceedings of the national academy of sciences*. 1990;87(18):7260-4.
31. Domon T, Sugaya K, Yawaka Y, Osanai M, Hanaizumi Y, Takahashi S, et al. Electron microscopic and histochemical studies of the mononuclear odontoclast of the human. *The Anatomical Record*. 1994;240(1):42-51.
32. Domon T, Yasuda M, Osanai M, Suzuki R, Takahashi S, Yamamoto T, et al. Increase in odontoclast nuclei number by cell fusion: A three-dimensional reconstruction of cell fusion of human odontoclasts. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 1998;252(3):462-71.
33. Parameswaran A. *Grossman's endodontic practice* 14th edition. 2021:32.
34. Sasaki T. Differentiation and functions of osteoclasts and odontoclasts in mineralized tissue resorption. *Microscopy research and technique*. 2003;61(6):483-95.
35. Boyde A, Jones S. Estimation of the size of resorption lacunae in mammalian calcified tissues using SEM stereophotogrammetry. *Scanning electron microscopy*. 1979.
36. Lasfargues J, Saffar J. Inhibition of prostanoid synthesis depresses alveolar bone resorption but enhances root resorption in the rat. *The anatomical record*. 1993;237(4):458-65.
37. Sahara N, Toyoki A, Ashizawa Y, Deguchi T, Suzuki K. Cytodifferentiation of the odontoclast prior to the shedding of human deciduous teeth: an ultrastructural and

- cytochemical study. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 1996;244(1):33-49.
38. Gotz W, Quondamatteo F, Ragotzki S, Affeldt J, Jäger A. Localization of cathepsin D in human odontoclasts. A light and electron microscopical immunocytochemical study. *Connective tissue research*. 2000;41(3):185-94.
 39. Oshiro T, Shibasaki Y, Martin TJ, Sasaki T. Immunolocalization of vacuolar-type H⁺-ATPase, cathepsin K, matrix metalloproteinase-9, and receptor activator of NFκB ligand in odontoclasts during physiological root resorption of human deciduous teeth. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*. 2001;264(3):305-11.
 40. Sahara N, Okafuji N, Toyoki A, Suzuki I, Deguchi T, Suzuki K. Odontoclastic resorption at the pulpal surface of coronal dentin prior to the shedding of human deciduous teeth. *Archives of histology and cytology*. 1992;55(3):273-85.
 41. Andreasen J. Luxation of permanent teeth due to trauma A clinical and radiographic follow-up study of 189 injured teeth. *European Journal of Oral Sciences*. 1970;78(1-4):273-86.
 42. Aidos H, Diogo P, Santos JM. Root resorption classifications: a narrative review and a clinical aid proposal for routine assessment. *European endodontic journal*. 2018;3(3):134.
 43. Patel S, Saberi N. The ins and outs of root resorption. *British dental journal*. 2018;224(9):691-9.
 44. Bellizzi R, Ciao W. Endodontic management of extensive internal root resorption: report of a case. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1980;49(2):162-5.
 45. Mummery F. The pathology of "pinkspots" on teeth. *Br Dent J*. 1920;41:7-12.
 46. Pritchard G. A Specimen Showing "Pink Spot". SAGE Publications; 1931.
 47. Lyroudia KM, Dourou VI, Pantelidou OC, Labrianidis T, Pitas IK. Internal root resorption studied by radiography, stereomicroscope, scanning electron microscope and computerized 3D reconstructive method. *Dental Traumatology*. 2002;18(3):148-52.
 48. Cohen S, Burns R. *Pathways of the Pulp*. Mosby. St Louis. 1998.
 49. Thomas P, Krishna Pillai R, Pushparajan Ramakrishnan B, Palani J. An insight into internal resorption. *International Scholarly Research Notices*. 2014;2014.

50. Heithersay G. Management of tooth resorption. *Australian Dental Journal*. 2007;52:S105-S21.
51. Frank AL, Weine FS. Nonsurgical therapy for the perforative defect of internal resorption. *The Journal of the American Dental Association*. 1973;87(4):863-8.
52. Sikri VK. Root Resorption an enigma. *Indian Journal of Comprehensive Dental Care (IJCDC)*. 2011;1(1).
53. HEITHERSAY GS. Clinical endodontic and surgical management of tooth and associated bone resorption. *International Endodontic Journal*. 1985;18(2):72-92.
54. Reichart P, Dürr UM, Triadan H, Vickendey G. Periodontal disease in the domestic cat: a histopathologic study. *Journal of periodontal research*. 1984;19(1):67-75.
55. Benenati F. Root resorption: types and treatment. *General dentistry*. 1997;45(1):42-5.
56. Holmes J, Gulabivala K, Van Der Stelt P. Detection of simulated internal tooth resorption using conventional radiography and subtraction imaging. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2001;30(5):249-54.
57. Goultshin J, Nitzan D, Azaz B. Root resorption: review and discussion. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1982;54(5):586-90.
58. Cabrini R, Maisto O, Manfredi E. Internal resorption of dentine: histopathologic control of eight cases after pulp amputation and capping with calcium hydroxide. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1957;10(1):90-6.
59. Ashrafi M. Idiopathic multiple internal resorption: report of case. *ASDC J Dent Child*. 1980;47:196-9.
60. Wadden J. Extensive endodontic involvements following herpes zoster attack to facial area; report of a case. *Northwest dentistry*. 1991;70(2):31.
61. Škaljac-Staudt G, Katunarić M, Ivić-Kardum M. Internal resorption, therapy and filling. *Acta stomatologica Croatica*. 2000;34(4):431-3.
62. Bansal P, Nikhil V, Kapur S. Multiple idiopathic external apical root resorption: A rare case report. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2015;18(1):70.
63. Wedenberg C, Lindskog S. Evidence for a resorption inhibitor in dentin. *European Journal of Oral Sciences*. 1987;95(3):205-11.
64. Patel S, Ricucci D, Durak C, Tay F. Internal root resorption: a review. *Journal of endodontics*. 2010;36(7):1107-21.

65. Wedenberg C, Lindskog S. Experimental internal resorption in monkey teeth. *Dental Traumatology*. 1985;1(6):221-7.
66. Haapasalo M, Endal U. Internal inflammatory root resorption: the unknown resorption of the tooth. *Endodontic topics*. 2006;14(1):60-79.
67. Tyrovola JB, Spyropoulos MN, Makou M, Perrea D. Root resorption and the OPG/RANKL/RANK system: a mini review. *Journal of oral science*. 2008;50(4):367-76.
68. Sak M, Radecka M, Karpiński TM, Wędrychowicz Welman A, Szkaradkiewicz AK. Tooth root resorption: etiopathogenesis and classification. *MicroMedicine*. 2016;4(1):21-31.
69. Münch J. Zur genese, klinik und therapie der sogenannten internen granulome. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd*. 1937;4:424.
70. Patel S, Dawood A, Wilson R, Horner K, Mannocci F. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography an in vivo investigation. *International endodontic journal*. 2009;42(9):831-8.
71. Keinan D, Heling I, Stabholtz A, Moshonov J. Rapidly progressive internal root resorption: a case report. *Dental Traumatology*. 2008;24(5):546-9.
72. de Paula Silva FWG, Wu M K, Leonardo MR, da Silva LAB, Wesselink PR. Accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography scans in diagnosing apical periodontitis using histopathological findings as a gold standard. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):1009-12.
73. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Verbeken E, Wevers M, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Cervical external root resorption in vital teeth: X-ray microfocus-tomographical and histopathological case study. *Journal of clinical periodontology*. 2002;29(6):580-5.
74. Leach H, Ireland A, Whaites E. Radiographic diagnosis of root resorption in relation to orthodontics. *British dental journal*. 2001;190(1):16-22.
75. Cohen S, Hargreaves KM. *Cohen's pathways of the pulp*: Mosby Elsevier; 2011.
76. Opacić-Galić V, Zivković S. Frequency of the external resorptions of tooth roots. *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo*. 2004;132(5-6):152-6.

77. Yadav P, Rao Y, Jain A, Relhan N, Gupta S. Treatment of internal resorption with mineral trioxide aggregates: a case report. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2013;7(10):2400.
78. Cholia S, Wilson P, Makdissi J. Multiple idiopathic external apical root resorption: report of four cases. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2005;34(4):240-6.
79. Trope M. Luxation injuries and external root resorption-etiology, treatment, and prognosis. *CDA*. 2000;28(11):860-6.
80. Trope M. Root resorption due to dental trauma. *Endodontic topics*. 2002;1(1):79-100.
81. Borg E, Källqvist A, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Film and digital radiography for detection of simulated root resorption cavities. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1998;86(1):110-4.
82. Mavridou AM, Hauben E, Wevers M, Schepers E, Bergmans L, Lambrechts P. Understanding external cervical resorption in vital teeth. *Journal of endodontics*. 2016;42(12):1737-51.
83. Günday M, Sazak H, Türkmen C. A scanning electron microscopic study of external root resorption in replanted dog teeth. *Journal of endodontics*. 1995;21(5):269-71.
84. Barrett E, Kenny D. Avulsed permanent teeth: a review of the literature and treatment guidelines. *Dental Traumatology*. 1997;13(4):153-63.
85. Gunraj MN. Dental root resorption. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1999;88(6):647-53.
86. Andreasen J. Avulsions. *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth*. 1994.
87. Andreasen J. The effect of splinting upon periodontal healing after replantation of permanent incisors in monkeys. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1975;33(6):313-23.
88. Andreasen J. Relationship between surface and inflammatory resorption and changes in the pulp after replantation of permanent incisors in monkeys. *Journal of Endodontics*. 1981;7(7):294-301.

89. Andersson L, Bodin I, Sörensen S. Progression of root resorption following replantation of human teeth after extended extraoral storage. *Dental Traumatology*. 1989;5(1):38-47.
90. Grant DA, Chase J, Bernick S. Biology of the Periodontium in Primates of the Galago Species. I. The Normal Periodontium in Young Animals. II. Inflammatory Periodontal Disease. III. Lability of Cementum. IV. Changes Changes in Ageing. Ankylosis: Types and Sequential Events. *Journal of periodontology*. 1973;44(9):540-50.
91. de Aguiar Santos BO, de Mendonça DS, de Sousa DL, Neto JJSM, de Araújo RBR. Root resorption after dental traumas: classification and clinical, radiographic and histologic aspects. *RSBO Revista Sul Brasileira de Odontologia*. 2011;8(4):439-45.
92. Ford GS, Baisden M, Hoen M, Quigley N, Camp L. A case report of severe external resorption. *Journal Canadian Dental Association*. 1994;60(6):503-7, 10.
93. Melcher A, Turnbull R. Inhibition of osteogenesis by periodontal ligament. *Journal of periodontal research*. 1972(10):16-7.
94. Andreasen J. Analysis of pathogenesis and topography of replacement root resorption (ankylosis) after replantation of mature permanent incisors in monkeys. *Swedish dental journal*. 1980;4(6):231-40.
95. Hammarström L, Blomlöf L, Lindskog S. Dynamics of dentoalveolar ankylosis and associated root resorption. *Dental Traumatology*. 1989;5(4):163-75.
96. Andreasen J, Andreasen F. *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth*. St. Louis: Mosby Year Book. Inc; 1994.
97. Andreasen J, Borum MK, Jacobsen H, Andreasen F. Replantation of 400 avulsed permanent incisors. 4. Factors related to periodontal ligament healing. *Dental traumatology*. 1995;11(2):76-89.
98. Kawanami M, Andreasen J, Borum M, Schou S, Hjerting-Hansen E, Kato H. Infraposition of ankylosed permanent maxillary incisors after replantation related to age and sex. *Dental Traumatology*. 1999;15(2):50-6.
99. Andreasen JO, Hjerting-Hansen E. Replantation of teeth. I. Radiographic and clinical study of 110 human teeth replanted after accidental loss. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1966;24(3):263-86.
100. Heithersay GS. Invasive cervical resorption. *Endodontic topics*. 2004;7(1):73-92.

101. Heithersay GS. Invasive cervical resorption following trauma. *Australian Endodontic Journal*. 1999;25(2):79-85.
102. Fish EW. *Benign neoplasia of tooth and bone*. SAGE Publications; 1941.
103. Heithersay GS, Dahlstrom SW, Marin PD. Incidence of invasive cervical resorption in bleached root-filled teeth. *Australian Dental Journal*. 1994;39(2):82-7.
104. Vossoughi R, Takei HH. External cervical resorption associated with traumatic occlusion and pyogenic granuloma. *Journal of the Canadian Dental Association*. 2007;73(7).
105. Heithersay GS. Invasive cervical resorption: an analysis of potential predisposing factors. *Quintessence international*. 1999;30(2):83-95.
106. Harrington GW, Natkin E. External resorption associated with bleaching of pulpless teeth. *Journal of Endodontics*. 1979;5(11):344-8.
107. Hammarström L, Lindskog S. Factors regulating and modifying dental root resorption. *Proceedings of the Finnish Dental Society Suomen Hammaslaakariseuran toimituksia*. 1992;88:115-23.
108. Southam J. Clinical and histological aspects of peripheral cervical resorption. *The Journal of Periodontology*. 1967;38(6P1):534-8.
109. Nakamura I, Takahashi N, Sasaki T, Jimi E, Kurokawa T, Suda T. Chemical and physical properties of the extracellular matrix are required for the actin ring formation in osteoclasts. *Journal of bone and mineral research*. 1996;11(12):1873-9.
110. Schwartz RS, Robbins JW, Rindler E. Management of invasive cervical resorption: observations from three private practices and a report of three cases. *Journal of endodontics*. 2010;36(10):1721-30.
111. Patel S, Foschi F, Mannocci F, Patel K. External cervical resorption: a three-dimensional classification. *International endodontic journal*. 2018;51(2):206-14.
112. Iqbal MK. Clinical and scanning electron microscopic features of invasive cervical resorption in a maxillary molar. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007;103(6):49-54.
113. Liang H, Burkes E, Frederiksen N. Multiple idiopathic cervical root resorption: systematic review and report of four cases. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2003;32(3):150-5.

114. Andreasen F, Sewerin I, Mandel U, Andreasen J. Radiographic assessment of simulated root resorption cavities. *Dental Traumatology*. 1987;3(1):21-7.
115. Hashem D, Mannocci F, Patel S, Manoharan A, Brown J, Watson T, et al. Clinical and radiographic assessment of the efficacy of calcium silicate indirect pulp capping: a randomized controlled clinical trial. *Journal of dental research*. 2015;94(4):562-8.
116. Estevez R, Aranguren J, Escorial A, de Gregorio C, De La Torre F, Vera J, et al. Invasive cervical resorption Class III in a maxillary central incisor: diagnosis and follow-up by means of cone-beam computed tomography. *Journal of endodontics*. 2010;36(12):2012-4.
117. Patel K, Foschi F, Pop I, Patel S, Mannocci F. The use of intentional replantation to repair an external cervical resorptive lesion not amenable to conventional surgical repair. *Primary dental journal*. 2016;5(2):78-83.
118. Heithersay GS. Treatment of invasive cervical resorption: An analysis of results using topical application of trichloroacetic acid, curettage, and restoration. *Quintessence international*. 1999;30(2):83-95.
119. Patel S, Foschi F, Condon R, Pimentel T, Bhuvra B. External cervical resorption: part 2—management. *International endodontic journal*. 2018;51(11):1224-38.
120. Rankow HJ, Krasner PR. Endodontic applications of guided tissue regeneration in endodontic surgery. *Journal of Endodontics*. 1996;22(1):34-43.
121. Ellis RA. Invasive cervical resorption: Geoffrey S. Heithersay, BDS, MDS (Adelaide, Australia). *Journal of Endodontics*. 1994;20(8):422-3.
122. Koh E, Torabinejad M, Pitt Ford T, Brady K, McDonald F. Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials and The Japanese Society for Biomaterials*. 1997;37(3):432-9.
123. Yan P, Yuan Z, Jiang H, Peng B, Bian Z. Effect of bioaggregate on differentiation of human periodontal ligament fibroblasts. *International Endodontic Journal*. 2010;43(12):1116-21.
124. Frank AL. External-internal progressive resorption and its nonsurgical correction. *Journal of endodontics*. 1981;7(10):473-6.

125. Patel K, Mannocci F, Patel S. The assessment and management of external cervical resorption with periapical radiographs and cone-beam computed tomography: a clinical study. *Journal of endodontics*. 2016;42(10):1435-40.
126. Kampanas N-S, Antoniadou M. Glass ionomer cements for the restoration of non-carious cervical lesions in the geriatric patient. *Journal of functional biomaterials*. 2018;9(3):42.
127. Zhou H-m, Shen Y, Wang Z-j, Li L, Zheng Y-f, Häkkinen L, et al. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *Journal of endodontics*. 2013;39(4):478-83.
128. Main C, Mirzayan N, Shabahang S, Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: a long-term study. *Journal of endodontics*. 2004;30(2):80-3.
129. Malueg LA, Wilcox LR, Johnson W. Examination of external apical root resorption with scanning electron microscopy. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 1996;82(1):89-93.
130. Andreasen JO, Hjørting-Hansen E. Replantation of teeth. II. Histological study of 22 replanted anterior teeth in humans. *Acta Odontologica Scandinavica*. 1966;24(3):287-306.
131. Skoglund A, Tronstad L, Wallenius K. A microangiographic study of vascular changes in replanted and autotransplanted teeth of young dogs. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1978;45(1):17-28.
132. Kasımoğlu Y, Elif T. Lüksasyon Yaralanmalarında Geçici Apikal Yıkım. *Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi*. 24(3):98-103.
133. Mount G. *Color atlas of glass-ionomer cements*. 3Martin Dunitz, London. 2002.
134. Douglas W, editor *Strength of the new systems, Glass Ionomers. The next generation, Proceedings of the 2nd International Symposium on Glass Ionomes*; 1994.
135. Crisp S, Kent BE, Lewis BG, Ferner AJ, Wilson AD. Glass-ionomer cement formulations. II. The synthesis of novel polycarboxylic acids. *Journal of dental research*. 1980;59(6):1055-63.

136. Shahid S, Hassan U, Billington R, Hill R, Anderson P. Glass ionomer cements: effect of strontium substitution on esthetics, radiopacity and fluoride release. *Dental Materials*. 2014;30(3):308-13.
137. Walls A. Glass polyalkenoate (glass-ionomer) cements: a review. *Journal of dentistry*. 1986;14(6):231-46.
138. Powis D, Follerås T, Merson S, Wilson A. Materials science: Improved adhesion of a glass ionomer cement to dentin and enamel. *Journal of Dental Research*. 1982;61(12):1416-22.
139. Ngo H, Opsahl Vital S. Minimal intervention dentistry II: part 7. Minimal intervention in cariology: the role of glass-ionomer cements in the preservation of tooth structures against caries. *British dental journal*. 2014;216(10):561-5.
140. Nicholson JW. Adhesion of glass-ionomer cements to teeth: a review. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016;69:33-8.
141. Hsu H-M, Huang G-F, Chang H-H, Wang Y-L, Guo M-K. A continuous flow system for assessing fluoride release/uptake of fluoride-containing restorative materials. *Dental Materials*. 2004;20(8):740-9.
142. Mount G. *An Atlas of glass-ionomer cement: A Clinician's Guide*. 3rd. Ed Martin Dunitz, London. 2002.
143. Hiremath H, Yakub SS, Metgud S, Bhagwat S, Kulkarni S. Invasive cervical resorption: a case report. *Journal of endodontics*. 2007;33(8):999-1003.
144. Saidon J, He J, Zhu Q, Safavi K, Spångberg LS. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2003;95(4):483-9.
145. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of endodontics*. 2010;36(1):16-27.
146. Islam I, Chng H, Yap A. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *International endodontic journal*. 2006;39(3):220-5.
147. Estrela C, Bammann LL, Estrela CRdA, Silva RSd, Pecora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J* 2000;11(1):3-9.

148. Torabinejad M, White DJ. Tooth filling material and method of use. Google Patents; 1995.
149. Chedella S, Berzins D. A differential scanning calorimetry study of the setting reaction of MTA. *International endodontic journal*. 2010;43(6):509-18.
150. Holland R, de Souza V, Nery MJ, Bernabé PFE, Otoboni Filho JA, Junior ED, et al. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide-containing sealers. *Journal of endodontics*. 2002;28(3):173-6.
151. Sarkar N, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I. Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *Journal of endodontics*. 2005;31(2):97-100.
152. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2008;11(4):141.
153. Camilleri J, Montesin FE, Papaioannou S, McDonald F, Pitt Ford TR. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2004;37(10):699-704.
154. Rao A, Rao A, Shenoy R. Mineral trioxide aggregate—a review. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2009;34(1):1-8.
155. Camilleri J, Ford TRP. Evaluation of the effect of tracer pH on the sealing ability of glass ionomer cement and mineral trioxide aggregate. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 2008;19(8):2941-8.
156. O'Sullivan SM, Hartwell GR. Obturation of a retained primary mandibular second molar using mineral trioxide aggregate: a case report. *Journal of endodontics*. 2001;27(11):703-5.
157. Steffen H, Dammaschke T. BIODENTINE™. *Septodont in*. 2015;12:21-13.
158. Caronna V, Himel V, Yu Q, Zhang J-F, Sabey K. Comparison of the surface hardness among 3 materials used in an experimental apexification model under moist and dry environments. *Journal of endodontics*. 2014;40(7):986-9.
159. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed research international*. 2014;2014.

160. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dental Materials*. 2013;29(2):e20-e8.
161. File BS. Active biosilicate technology, septodont. Saint-Maur-des-Fossés Cedex: R&D Department. 2010.
162. Al Sabek F, Shostad S, Kirkwood KL. Preferential attachment of human gingival fibroblasts to the resin ionomer Geristore. *Journal of endodontics*. 2005;31(3):205-8.
163. Geurtsen W, Spahl W, Leyhausen G. Residual monomer/additive release and variability in cytotoxicity of light-curing glass-ionomer cements and compomers. *Journal of dental research*. 1998;77(12):2012-9.
164. Scherer W, Dragoo M. New subgingival restorative procedures with Geristore resin ionomer. *Practical periodontics and aesthetic dentistry: PPAD*. 1995;7(1 Suppl):1-4.
165. Gartner AH, Dorn SO. Advances in endodontic surgery. *Dental Clinics of North America*. 1992;36(2):357-78.
166. Kakani AK, Veeramachaneni C, Majeti C, Tummala M, Khiyani L. A review on perforation repair materials. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2015;9(9):ZE09.
167. Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *International endodontic journal*. 2009;42(6):447-62.
168. Siegel MJ, Evens RG. Advances in the use of computed tomography. *Jama*. 1999;281(14):1252-4.
169. Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *Journal-Canadian Dental Association*. 2006;72(1):75.
170. Halazonetis DJ. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2005;127(5):627-37.
171. Kawamata A, Ariji Y, Langlais RP. Three-dimensional computed tomography imaging in dentistry. *Dental Clinics of North America*. 2000;44(2):395-410.

172. Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Brazilian dental journal*. 2012;23(3):179-91.
173. Lofthag-Hansen S, Huuimonen S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 2007;103(1):114-9.
174. Mookhoek SD, Mayo SC, Hughes AE, Furman SA, Fischer HR, Van der Zwaag S. Applying SEM-based X-ray microtomography to observe self-healing in solvent encapsulated thermoplastic materials. *Advanced engineering materials*. 2010;12(3):228-34.
175. Rhodes J, Ford TP, Lynch J, Liepins P, Curtis R. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *International endodontic journal*. 1999;32(3):165-70.
176. Saraç SN. Apeksifikasyon tedavisinde farklı tekniklerle yerleştirilen MTA apikal tıkaçının dolgu kalitelerinin Mikro BT yöntemi ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi [Doktora tezi]. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2015.
177. Rattanasak U, Kendall K. Pore structure of cement/pozzolan composites by X-ray microtomography. *Cement and concrete research*. 2005;35(4):637-40.
178. Kim Y, Perinpanayagam H, Lee J-K, Yoo Y-J, Oh S, Gu Y, et al. Comparison of mandibular first molar mesial root canal morphology using micro-computed tomography and clearing technique. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2015;73(6):427-32.
179. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of endodontics*. 2004;30(8):559-67.
180. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N. Evaluation of root canal obturation: a three-dimensional in vitro study. *Journal of endodontics*. 2009;35(4):541-4.
181. Andreasen J. Etiology and pathogenesis of traumatic dental injuries A clinical study of 1,298 cases. *European journal of oral sciences*. 1970;78(1-4):329-42.
182. Andreasen J. The influence of traumatic intrusion of primary teeth on their permanent successors. A radiographic and histologic study in monkeys. *International journal of oral surgery*. 1976;5(5):207-19.

183. Çalıkoğlu S. Bölümlü Protezler: İstanbul Ü Basımevi; 1996.
184. Ulusoy M, Aydın AK. Diş Hekimliğinde Hareketli Bölümlü Protezler: Ankara Ü Diş Hek Yayınları 2003.
185. Sakaguchi RL, Powers JM. Craig's restorative dental materials e-book: Elsevier Health Sciences; 2012.
186. Geng J-P, Tan KB, Liu G-R. Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature. The Journal of prosthetic dentistry. 2001;85(6):585-98.
187. Srirekha A, Bashetty K. Infinite to finite: an overview of finite element analysis. Indian Journal of Dental Research. 2010;21(3):425.
188. Shetty P, Hegde A, Rai K. Finite element method—an effective research tool for dentistry. Journal of Clinical Pediatric Dentistry. 2010;34(3):281-5.
189. Ledley RS, Huang HK. Linear model of tooth displacement by applied forces. Journal of dental research. 1968;47(3):427-32.
190. Farah J, Craig R. Finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. Journal of dental research. 1974;53(4):859-66.
191. Mackerle J. Finite element modelling and simulations in dentistry: a bibliography 1990–2003. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering. 2004;7(5):277-303.
192. Ramoğlu S, Ozan O. Diş hekimliğinde sonlu elemanlar stres analiz yöntemi. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2014;24(3).
193. Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: advances and challenges in dental applications. Journal of dentistry. 2008;36(7):463-71.
194. Taşkınsel E, Gümüş H. Sonlu elemanlar stres analizi ve restoratif diş hekimliğinde kullanımı. Atatürk Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi. 2014;24(Supplement 8):131-5.
195. DeTolla DH, Andreana S, Patra A, Buhite R, Comella B. The role of the finite element model in dental implants. Journal of Oral Implantology. 2000;26(2):77-81.
196. Geramy A, Morgano SM. Finite element analysis of three designs of an implant-supported molar crown. The Journal of prosthetic dentistry. 2004;92(5):434-40.

197. Sekerere K, Mushiri T, editors. Finite element analysis of a cubesat. International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management, Bristol, UK; 2017.
198. Craig RG. Review of dental impression materials. *Advances in dental research*. 1988;2(1):51-64.
199. Incropera FP, Dewitt DP, Bergman TL, Lavine AS. *Fundamentals of heat and mass transfer*, John Wiley & Sons. Inc, Hoboken, NJ, 981p. 2002.
200. Toparli M, Sasaki S. Finite element analysis of the temperature and thermal stress in a postrestored tooth. *Journal of oral rehabilitation*. 2003;30(9):921-6.
201. Huang H-M, Ou K-L, Wang W-N, Chiu W-T, Lin C-T, Lee S-Y. Dynamic finite element analysis of the human maxillary incisor under impact loading in various directions. *Journal of Endodontics*. 2005;31(10):723-7.
202. da Silva B, Moreira Neto J, da Silva Jr F, de Aguiar A. Three-dimensional finite element analysis of the maxillary central incisor in two different situations of traumatic impact. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*. 2013;16(2):158-64.
203. Poiate IAVP, Vasconcellos ABd, Poiate Junior E, Dias KRHC. Stress distribution in the cervical region of an upper central incisor in a 3D finite element model. *Brazilian oral research*. 2009;23:161-8.
204. Ichim I, Schmidlin P, Kieser J, Swain M. Mechanical evaluation of cervical glass-ionomer restorations: 3D finite element study. *Journal of dentistry*. 2007;35(1):28-35.
205. Adigüzel Ö, Özer SY, Bahşi E, Yavuz İ. Finite element analysis of endodontically treated tooth restored with different posts under thermal and mechanical loading. *International dental research*. 2011;1(3):75-80.
206. Belli S, Eraslan O, Eskitascioglu G. Effect of root filling on stress distribution in premolars with endodontic-periodontal lesion: a finite elemental analysis study. *Journal of endodontics*. 2016;42(1):150-5.
207. Poiate IAVP, de Vasconcellos AB, de Santana RB, Poiate Jr E. Three-dimensional stress distribution in the human periodontal ligament in masticatory, parafunctional, and trauma loads: finite element analysis. *Journal of periodontology*. 2009;80(11):1859-67.

208. Tay FR, Pashley DH. Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. *Journal of endodontics*. 2007;33(4):391-8.
209. Subash D, Shoba K, Aman S, Bharkavi SKI, Nimmi V, Abhilash R. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with biodentine, resin modified GIC and hybrid composite resin as a core material. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2017;11(9):ZC68.
210. Li L-l, Wang Z-y, Bai Z-c, Yong M, Bo G, Xin H-t, et al. Three-dimensional finite element analysis of weakened roots restored with different cements in combination with titanium alloy posts. *Chinese medical journal*. 2006;119(4):305-11.
211. KJ A. Phillips' science of dental materials: Saunders. Elsevier; 2003.
212. Braly B, Maxwell E. Potential for tooth fracture in restorative dentistry. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1981;45(4):411-4.
213. Kishen A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endodontic topics*. 2006;13(1):57-83.
214. Arslan H, Karataş E, Capar ID, Özsu D, Doğanay E. Effect of ProTaper Universal, Endoflare, Revo-S, HyFlex coronal flaring instruments, and Gates Glidden drills on crack formation. *Journal of endodontics*. 2014;40(10):1681-3.
215. Andreasen JO, Munksgaard EC, Bakland LK. Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dental traumatology*. 2006;22(3):154-6.
216. Bortoluzzi E, Souza E, Reis JdS, Esberard R, Tanomaru-Filho M. Fracture strength of bovine incisors after intra-radicular treatment with MTA in an experimental immature tooth model. *International endodontic journal*. 2007;40(9):684-91.
217. Hatibović-Kofman Š, Raimundo L, Zheng L, Chong L, Friedman M, Andreasen JO. Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dental Traumatology*. 2008;24(3):272-6.
218. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials*. 2002;23(13):2667-82.
219. Rees J. An investigation into the importance of the periodontal ligament and alveolar bone as supporting structures in finite element studies. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2001;28(5):425-32.

220. Mackerle J. A guide to the literature on finite and boundary element techniques and software. *Engineering analysis with boundary elements*. 1989;6(2):84-96.
221. Helkimo E, Carlsson GE, Carmeli Y. Bite force in patients with functional disturbances of the masticatory system. *Journal of Oral Rehabilitation*. 1975;2(4):397-406.
222. Peters OA, Paqué F. Root canal preparation of maxillary molars with the self-adjusting file: a micro-computed tomography study. *Journal of Endodontics*. 2011;37(1):53-7.
223. Naseri M, Kangarlou A, Khavid A, Goodini M. Evaluation of the quality of four root canal obturation techniques using micro-computed tomography. *Iranian endodontic journal*. 2013;8(3):89.
224. White Jr C, Bryant N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guided tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *Journal of periodontology*. 2002;73(12):1517-21.
225. Hunt P. Glass ionomers: The next generation a summary of the current situation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 1994;6(5):192-4.
226. Torabinejad M, Hong C, McDonald F, Ford TP. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of endodontics*. 1995;21(7):349-53.
227. El-Ma'aïta AM, Qualtrough AJ, Watts DC. A micro-computed tomography evaluation of Mineral Trioxide Aggregate root canal fillings. *Journal of Endodontics*. 2012;38(5):670-2.
228. Septodont. Biodentine active biosilicate technology: scientific file. Septodont Saint-Maur-des-Fossés; 2010.
229. Türker SA, Uzunoğlu E, Sungur DD, Tek V. Fracture resistance of teeth with simulated perforating internal resorption cavities repaired with different calcium silicate-based cements and backfilling materials. *Journal of endodontics*. 2018;44(5):860-3.
230. EL-Ma'aïta AM, Qualtrough AJ, Watts DC. Resistance to vertical fracture of MTA-filled roots. *Dental Traumatology*. 2014;30(1):36-42.
231. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *International endodontic journal*. 2011;44(12):1081-7.

232. Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P. Glass-ionomer adhesion: the mechanisms at the interface. *Journal of dentistry*. 2006;34(8):615-8.
233. Atmeh A, Chong E, Richard G, Festy F, Watson T. Dentin-cement interfacial interaction: calcium silicates and polyalkenoates. *Journal of dental research*. 2012;91(5):454-9.
234. Aslan T, Üstün Y, Esim E. Stress distributions in internal resorption cavities restored with different materials at different root levels: a finite element analysis study. *Australian Endodontic Journal*. 2019;45(1):64-71.
235. Aslan T, Esim E, Üstün Y, Özkan HD. Evaluation of stress distributions in mandibular molar teeth with different iatrogenic root perforations repaired with Biodentine or Mineral Trioxide Aggregate: a finite element analysis study. *Journal of Endodontics*. 2021;47(4):631-40.
236. Girish K, Mandava J, Chandra RR, Ravikumar K, Anwarullah A, Athaluri M. Effect of obturating materials on fracture resistance of simulated immature teeth. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2017;20(2):115.
237. Brito-Júnior M, Pereira R, Veríssimo C, Soares C, Faria-e-Silva A, Camilo C, et al. Fracture resistance and stress distribution of simulated immature teeth after apexification with mineral trioxide aggregate. *International endodontic journal*. 2014;47(10):958-66.

ÖZGEÇMİŞ

I. Bireysel Bilgiler

Adı Soyadı: Hande Akgün

Yabancı Dil: İngilizce

II. Eğitimi

Derece	Okul	Yıl
İlk	Edirne Keşan Rasim Ergene İlköğretim Okulu	2000-2003
Orta	Şanlıurfa Siverek Mehmetçik İlköğretim Okulu	2003-2006
Lise	İzmir Buca Fatma Saygın Anadolu Lisesi	2006-2010
Üniversite	Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2010-2015

III. Mesleki Deneyimi

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Ondokuz Mayıs üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi	2018-2022

IV. Üye Olduğu Bilimsel Kuruluşlar

Türk Endodonti Derneği

V. Bilimsel İlgi Alanları

VI. Bilimsel Etkinlikleri

EKLER

EK-1



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KLİNİK ARAŞTIRMALAR ETİK KURULU

Sayı: B.30.2.ODM.0.20.08/85

12.02.2021

Sayın Doç.Dr.ELif KALYONCUOĞLU

Etik Kurulumuza sunmuş olduğunuz **Dış kök rezorpsiyon kavitelerinde kullanılan materyallerin sonlu eleman analizi** başlıklı OMÜ KAEK 2021/86 Karar nolu Sistem model geliştirme çalışması nitelikli araştırma projeniz amaç, gerekçe, yaklaşım ve yöntemle ilgili açıklamaları açısından Klinik araştırmalar Etik Kurulu yönergesine göre incelenmiş ve etik açıdan bir sakınca olmadığına, çalışmanın süresi 6 ayı geçerse 6 aylık bildirimlerinin yapılmasına, çalışma tamamlandıktan sonra sonucunun tarafımıza en geç üç(3) ay içerisinde bildirilmesine 11.02.2021 tarihli Etik kurulumuzda oy birliği ile karar verilmiştir.

Bilgilerinize arz/rica ederim.

